Postverlagsort Leipzig

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

UNTER MITWIRKUNG VON

A. BUTENANDT BERLIN-DAHLEM · P. DEBYE BERLIN-DAHLEM · F. K. DRESCHER-KADEN GÖTTINGEN · H. v. FICKER WIEN · R. GRAMMEL STUTTGART

O. HAHN BERLIN-DAHLEM · M. HARTMANN BERLIN-DAHLEM · F. KÖGL UTRECHT · M. v. LAUE BERLIN · E. v. d. PAHLEN POTSDAM

F. SAUERBRUCH BERLIN · H. SPEMANN FREIBURG I. BR. · H. STILLE BERLIN · F. v. WETTSTEIN BERLIN-DAHLEM

HERAUSGEGEBEN VON

FRITZ SÜFFERT

ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

UND

ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

HEFT 16 (SEITE 225—240) 18. APRIL 1941 29. JAHRGANG

INHALT:

Die subjektive Photometrie farbiger Lichter. Von A. DRESLER. (Mit 7 Figuren) 225

Die Pigmente der Ommin- und Ommatingruppe, eine neue Klasse von Naturfarbstoffen. Von ERICH BECKER. (Mit 2 Figuren) 237

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN:

Die Beziehungen zwischen Stagnationseffekt, photooxydativer Chlorophyllzerstörung und funktionellem Sonnenstich bei Wasserpflanzen. Von C. MONTFORT 238

Über die Isotypie zwischen Phosphaten der allgemeinen Zusammensetzung MeLi[PO_4] und den Silikaten der Olivin-Monticellit-Reihe. Von ERICH THILO 239

Über die Isotypie zwischen Phosphaten der allgemeinen Zusammensetzung $(Me_1)_3(Me_2)_2[PO_4]_3$ und den Silikaten der Granatgruppe. Von ERICH THILO 239

Über die „isolierte Liniengruppe" in den 4300 Å-Banden im CH- und CD-Spektrum. Von L. GERÖ und R. SCHMID 239

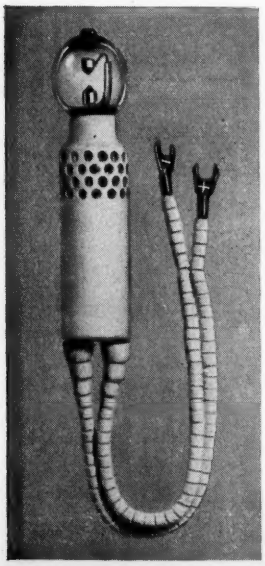
Beugungspolarisatorische Messungen an gedehnten und kontrahierten Mesenchymkulturen in vitro. Von H. H. PFEIFFER . . . 239

BESPRECHUNG:

MITTMANN, OTFRID, Erbbiologische Fragen in mathematischer Behandlung. (Ref.: Wilhelm Ludwig) 240

OSRAM-

Quecksilber-Höchstdrucklampen



liefern höchste technisch erzeugbare **Leucht-** sowie **Strahldichten** im sichtbaren Gebiet und im langwelligen UV

Die Lampen werden gebaut für Leistungsaufnahmen von 500 W Gleichstrom und 550 W Wechselstrom und 1000 W Gleichstrom, 25000 sb Leuchtdichte, etwa 25000 bzw. 50000 Hlm Lichtstrom.

Anwendungsgebiete: Optik, Projektions- und Scheinwerfertechnik, Fluoreszenzuntersuchungen, Mikrophotographie, Kolloidforschung, biologische Untersuchungen usw.

OSRAM

G. m. b. H. Kommanditgesellschaft BERLIN O 17

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen wöchentlich und können im In- und Auslande durch jede Sortimentsbuchhandlung oder jede Postanstalt bezogen werden. Preis vierteljährlich RM 9.60. Hierzu treten bei direkter Zustellung unter Kreuzband die Versandspesen bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Einzelpreis dieses Heftes RM 1.— zuzüglich Porto. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, Studierende, ferner Ärzte in nicht vollbezahlter Stellung erhalten die Zeitschrift im Abonnement mit einem Nachlaß von 20%.

Manuskripte, Bücher usw. an
Die Naturwissenschaften, Berlin W 9, Linkstr. 22/24, erbeten.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung (entsprechend § 42 des Verlagsgesetzes) der in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihre Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Anzeigen werden von der Verlagsbuchhandlung angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe erfragen. Letzter Annahme-Termin: 12 Tage vor Erscheinen der betreffenden Nummer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 22/24.
Fernsprecher: 21 81 11.

BEZUGSQUELLEN

GLASSPIEGEL

J. D. Möller G. m. b. H., Wedel/Holstein

MIKROSKOPISCHE HILFSMITTEL

Bernhard Halle Nachf., Berlin-Steglitz, Hubertusstraße 11: Polarisations-Optik

PHYSIKALISCHE APPARATE

Berliner physikalische Werkstätten G. m. b. H., Berlin W 35, Woyrschstr. 8. Telegrammadr. Physik

SPEKTRALAPPARATE

Bernhard Halle Nachf., Berlin-Steglitz, Hubertusstraße 11: Spektral-Optik für d. sichtb. u. U-V-Gebiet

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften

Redigiert in Gemeinschaft mit **F. Hund**

von

Ferdinand Trendelenburg

Vor kurzem erschien:

Neunzehnter Band

Mit 159 Abbildungen. III, 333 Seiten. 1940

RM 28.—; gebunden RM 29.60

Inhaltsverzeichnis:

Interstellare Materie. Von Professor Dr. E. Schoenberg und Dr. H. Lambrecht, Breslau.
Die Erzeugung schneller Ionenstrahlen für Kernreaktionen. Von Dr. W. Gentner, Heidelberg.
Massenspektrographie und ihre Anwendung auf Probleme der Atom- und Kernchemie. Von Professor Dr. J. Mattauch, Berlin-Dahlem.
Mikroskopie hoher Auflösung mit schnellen Elektronen. Von Dr.-Ing. B. v. Borries und Dr.-Ing. E. Ruska, Berlin-Siemensstadt.
Inhalt der Bände I—XIX. I. Namenverzeichnis. II. Sachverzeichnis.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang 18. April 1941 Heft 16

Die subjektive Photometrie farbiger Lichter.

Von A. Dresler, Berlin.

Die Aufgabe, mit Hilfe des Auges eine verläßliche Bewertung verschiedenfarbiger Lichter durchzuführen, ist nicht nur ein sehr altes, sondern war auch bis vor kurzem ein nur unbefriedigend gelöstes Problem. Sein Alter läßt sich an der Vielzahl der im photometrischen und physiologischen Schrifttum zu findenden Lösungsvorschläge nachweisen; die einander in vielen Fällen widersprechenden Ergebnisse veranschaulichen dabei sinnfällig, daß man sich über die Anforderungen, die an ein Verfahren hinsichtlich Eindeutigkeit und Widerspruchsfreiheit zu stellen sind, nicht immer im klaren gewesen sein kann. Solange die Messung farbiger Lichter ohne allzu große technische Bedeutung war, fehlte der Anreiz zu einer wirklich grundsätzlichen Klärung der Frage. Das änderte sich mit dem Augenblick, in dem nach der Schaffung der neuen, meist ausgesprochen farbigen Gas- und Metalldampfentladungslampen Erzeuger und Verbraucher dieser Lichtquellen eine zahlenmäßige Bewertung ihrer Lichtleistung verlangten, deren Genauigkeit in der bei Glühlampen gewohnten Größenordnung liegen sollte. Bei den Versuchen, diese Forderung meßtechnisch, d. h. also durch den Vergleich der farbigen Gasentladungslampe mit einer Glühlampe bekannter Lichtleistung, zu erfüllen, ergaben sich zahlreiche neue Erkenntnisse, insbesondere hinsichtlich derjenigen physiologischen und physikalischen Voraussetzungen und Bedingungen, die überhaupt erst einen eindeutigen und widerspruchsfreien Vergleich verschiedenfarbiger Lichter durch das Auge ermöglichen. Die Entwicklung ist jetzt so weit fortgeschritten, daß es lohnend erscheint, eine allgemeine Übersicht über die gewonnenen Erkenntnisse und über die Wege, die zur Lösung der Aufgabe geführt haben, zu geben.

I.

Am Anfang aller Lichtmessungen mit dem Auge steht zunächst einmal die Tatsache, daß das Auge von sich aus zu einer quantitativen Aussage — etwa in der Form: „Diese Fläche ist zwei- oder dreimal heller als eine andere" —, auch unter den günstigsten Beobachtungsbedingungen, nicht fähig ist. Das Auge kann vielmehr — unter gewissen Voraussetzungen — nur entscheiden, ob 2 Flächen unterschiedliche oder nichtunterschiedliche Reize auf das Auge ausüben. Es ist also nur als eine Art Nullinstrument verwendbar.

Solange es sich um den Vergleich von gleichfarbig leuchtenden Flächen handelt, ist *ein* Kriterium für eine solche Entscheidung besonders naheliegend: Man macht beide Flächen gleich hell und schließt aus den geometrischen Bedingungen, unter denen diese *Einstellung auf gleiche Leuchtdichte* erfolgt, nach rein physikalischen Gesetzen auf die Lichtstärken oder Lichtströme, welche die miteinander verglichenen Flächen beleuchten. Weniger naheliegend, aber im Prinzip genau so richtig, ist ein anderes Kriterium: Man definiert: 2 Flächen sind dann gleich hell beleuchtet, wenn man in ihnen Einzelheiten gleich gut erkennen kann (*Einstellung auf gleiche Sehschärfe*). Bei diesen 2 Kriterien ist es aber nicht geblieben. Mit Rücksicht auf die Schwierigkeit der Einstellung auf gleiche Leuchtdichte beim Vergleich verschiedenfarbiger Lichter und der großen Streuung beim Messen nach dem Sehschärfeverfahren ist im Laufe der Zeit eine ganze Reihe weiterer Kriterien in Vorschlag gebracht worden, mit deren Hilfe das Auge eine Aussage über die Gleichwertigkeit zweier verschiedenfarbig leuchtender Flächen machen soll.

Einige der bekannteren Verfahren, aber auch einige mit besonders eigenartigen Kriterien mögen hier zur Veranschaulichung der Vielseitigkeit angeführt werden. Große praktische Bedeutung hat z. B. das *Flimmerverfahren*. Man versteht hierunter folgendes: Blickt das Auge auf zwei unmittelbar benachbarte Flächen, die in einem bestimmten Rhythmus umschichtig von 2 Lichtquellen beleuchtet werden, so entsteht im allgemeinen ein Flimmereindruck. Diesen Flimmereindruck kann man bei Einstellung einer geeigneten Frequenz des wechselnden Rhythmus ganz oder fast vollständig zum Verschwinden bringen, wenn man den Abstand der Lichtquellen zu den von ihnen beleuchteten Flächen in bestimmter Weise ändert. Dieses Verschwinden — oder allgemeiner — das Minimum des Flimmerns gilt als Kriterium der Gleichheit der Beleuchtungen auf den beiden verglichenen Flächen. Nicht mit dem Flimmerverfahren verwechselt werden darf die *Verschmelzungsfrequenzmethode*, bei der man folgendermaßen vorgeht: Die 2 Flächen, über deren Leuchtdichte man eine vergleichende Aussage machen soll, werden dem Auge — jede für sich — in zwei voneinander unabhängigen Meßreihen flimmernd dargeboten. Das Flimmern wird durch einen rotierenden Sektor, dessen Wechselfrequenz regel- und meßbar ist, hervorgebracht. Die Wechselfrequenz wird langsam erhöht, und es wird festgestellt, bei welcher Frequenz die jeweils betrachtete Fläche nicht mehr flimmert, sondern einen scheinbar zeitlich konstanten Lichteindruck erweckt. Erfolgt diese Verschmelzung für beide

Flächen bei derselben Frequenz, so gelten die Flächen als gleich hell. Ein anderes Verfahren wieder benutzt folgendes Kriterium zum Vergleich eines farbigen mit einem farblosen, d. h. weißem Licht. Das Auge betrachtet zunächst das farblose Licht. Ganz kurzzeitig wird dann das farbige Licht an Stelle des farblosen in die Blickrichtung gebracht. Die Zeit wird dabei so kurz gewählt, daß zwar die Farbigkeit des Lichtes nicht wahrgenommen wird, wohl aber festgestellt werden kann, ob ein Helligkeitsunterschied gegen vorher besteht. Ist dies nicht der Fall, so gelten das farblose und das farbige Licht als helligkeitsgleich (*Minimalzeitverfahren*). Wird hier die Verkürzung der Beobachtungszeit als Hilfsmittel zur Erleichterung des Vergleichs eines farbigen mit einem farblosen Licht benutzt, so bedient sich ein anderes Verfahren hierfür der Eigenschaften der peripher gelegenen Zapfen unserer Netzhaut, die nach Feststellung der Physiologen keine Farb-, sondern nur Helligkeitsunterschiede vermitteln können. Nach der *Peripheriewertmethode* beobachtet man bei helladaptiertem Auge mit den äußersten Randteilen der Netzhaut und gleicht unter diesen Bedingungen die zu bewertenden Flächen auf gleichen Helligkeitseindruck ab. Ein ganz anderes Meßkriterium benutzt schließlich das *Stereoverfahren nach* PULFRICH, das von der Annahme ausgeht, daß die Zeit zwischen Reiz und Empfindung für gleich große, aber verschiedenfarbige Leuchtdichten gleich groß ist. Die Messung der gleichen Empfindungszeit geschieht auf sehr eigenartige Weise: Man projiziert das Schattenbild einer Stabspitze derart auf die beiden miteinander zu vergleichenden Flächen, daß auf beiden je eine Spitze erscheint, und sorgt dafür, daß das eine Auge nur die eine Fläche, das andere Auge nur die andere Fläche, und zwar so betrachten kann, daß die beiden Spitzenbilder — stereoskopisch gesehen — zu einem Bild verschmelzen. Bewegt man den die Schattenbilder erzeugenden Stab, so scheint die Bewegung der Spitze im allgemeinen ellipsenförmig im Raum vor sich zu gehen. Sind die beiden Flächen jedoch gleich hell, so glaubt man die Bewegung geradlinig in einer Ebene vor sich gehen zu sehen. Dieser Eindruck kommt dadurch zustande, daß die Zeit zwischen Reiz und Empfindung für das von beiden Flächen ausgehende Licht gleich groß ist.

II.

Wie soll man nun aber entscheiden, welches der geschilderten bzw. der sonst noch bekannten Verfahren brauchbar ist bzw. überhaupt angewendet werden darf? Wir sehen dabei von der selbstverständlichen Voraussetzung ab, daß ein Verfahren nur dann brauchbar ist, wenn es genügend genau reproduzierbare Werte liefert. Zwei Bedingungen sind es, die eingehalten werden müssen, ehe man sagen darf, daß ein physiologisches Kriterium der geschilderten Art eindeutige und widerspruchsfreie Aussagen über die miteinander verglichenen Leuchtdichten gewährleistet. Diese beiden Bedingungen sind:

1. Erfüllung des Additivitätsgesetzes[1]) und
2. Bewertung gemäß der normalen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges für farbiges Licht.

Um überblicken zu können, was diese beiden Bedingungen praktisch bedeuten, muß man sich das Verhältnis von Licht- zu Strahlungsmessung vor Augen führen. Die Photometrie ist — physikalisch gesehen — auch nur eine Strahlungsmessung; das Besondere an ihr ist lediglich, daß sie mit einer *physiologischen* Wirkungsfunktion, eben der spektralen Hellempfindlichkeit des normalen menschlichen Auges, gekoppelt ist. Durch diese Koppelung unterscheidet sich die Photometrie aber nur meßtechnisch, nicht grundsätzlich, von einer Strahlungsmessung. Eine Lichtmessung muß also a priori zunächst einmal allen Bedingungen, die an eine Strahlungsmessung zu stellen sind, genügen. Man kann das am einfachsten so formulieren, daß man sagt: Von einer Lichtmessung ist die Befolgung des Additivitätsgesetzes zu verlangen. Das Additivitätsgesetz sichert das Vorhandensein linearer Beziehungen zwischen zwei gemessenen Größen und gleichzeitig die Vertauschbarkeit zweier als gleich bestimmter Größen, ohne daß ein zusammen mit einer dritten Größe bestimmtes Meßergebnis beeinflußt wird.

Mathematisch kommt diese Beziehung zwischen Licht- und Strahlungsmessung in der Definitionsgleichung für die lichttechnische Grundgröße, den Lichtstrom, zum Ausdruck. Diese Gleichung lautet:

$$\Phi = \frac{1}{M}\int E_\lambda V_\lambda \, d\lambda . \qquad (1)$$

Hierin bedeuten:

Φ den Lichtstrom einer Lichtquelle in Lumen (lm).

$E_\lambda d\lambda$ die den Lichtstrom im Wellenlängenbereich λ bis $\lambda + d\lambda$ hervorrufende Strahlungsleistung der Lichtquelle in Watt.

V_λ die spektrale Hellempfindlichkeit des normalen menschlichen Auges (physiologische Koppelungsfunktion zwischen Licht- und Strahlungsmessung).

$\frac{1}{M}$ einen Proportionalitätsfaktor, dessen Zahlenwert angibt, wieviel Watt im günstigsten Fall 1 Lumen zu erzeugen vermögen ($M = 0{,}00145$ W/lm).

Das Integralzeichen fordert die Befolgung des Additivitätsgesetzes, und die einfache Nebeneinanderstellung von $E_\lambda d\lambda$ und V_λ bezeugt, daß

[1]) Mehrere getrennt gemessene, gleichen- oder verschiedenfarbige Lichter müssen also gleichzeitig und zusammen bewertet zu einem mit der Summe der Einzelmessungen übereinstimmenden Ergebnis führen. Diese Forderung muß zunächst unabhängig davon aufgestellt werden, ob das Auge überhaupt in der Lage ist, sie zu erfüllen oder nicht.

zwischen strahlungsphysikalischen und photometrischen Größen kein grundsätzlicher Unterschied besteht. Da alle anderen photometrischen Größen, wie Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte oder Lichtstärke zum Lichtstrom in denselben Beziehungen stehen wie die entsprechenden Strahlungsgrößen: Bestrahlungsstärke, Strahldichte und Strahlstärke zur Strahlungsleistung (Strahlungsfluß), stellt Gleichung (1) die Brücke zwischen allen photometrischen und strahlungsphysikalischen Einheiten dar. Es ergibt sich daraus ferner, daß die Kontrolle, ob ein photometrisches Meßverfahren dem Additivitätsgesetz folgt oder nicht, im Prinzip nicht anders durchgeführt werden kann bzw. muß, als man einen Strahlungsempfänger auf Befolgung des Gesetzes prüft.

Eine einfache Meßanordnung zur Prüfung eines photometrischen Verfahrens auf Befolgung des Additivitätsgesetzes zeigt Fig. 1. Die Lichtquelle L beleuchtet die Trübglasscheibe T, die als eigentliche Lichtquelle an das eine Ende einer Photometerbank aufgestellt wird. In einem geringen Abstand steht parallel zu T ein Rahmen R mit einer Öffnung, in dem übereinander 2 Farbfilter F_1 und F_2 eingelegt werden können. Durch Aufschieben einer Blechschablone kann nach Belieben das obere oder das untere Filter lichtdicht abgedeckt werden. So ist es also möglich, z. B. erst ein rotes Licht auf das Photometer Ph fallen zu lassen, dann ein blaues und nach Wegziehen der Schablone beide zusammen. Am anderen Ende der Photometerbank befindet sich die Vergleichslampe I_v, die mit der Lampe L zusammen während des ganzen Versuches auf konstante Stromaufnahme überwacht werden muß. Die Messung geht so vor sich, daß jeder Beobachter zunächst die Lichtstärke des durch F_1 gehenden Lichts, dann die des durch F_2 gehenden und schließlich die Summe beider Lichtstärken durch eine Einstellung des Photometers Ph, z. B. auf gleichen Helligkeitseindruck der Vergleichsflächen oder auf Flimmerminimum bestimmt. Das photometrische Verfahren, bei dem die Summe der Einzellichtstärken gleich der gemessenen Summenlichtstärke ist, befolgt das Additivitätsgesetz. Die Berechnung dieser Einzel- und Summenlichtstärken ergibt sich aus der bekannten Lichtstärke der Vergleichslampe I_v und den Abständen zwischen Photometer und Trübglasscheibe einerseits und Vergleichslampe andererseits in bekannter Weise. Die Prüfung ist um so schärfer, je stärker das die Filter F_1 und F_2 verlassende Licht sich in Farbton und Sättigung von dem Licht der Vergleichslampe I_v unterscheidet und je weiter die farbtongleichen Wellenlängen von F_1 und F_2 auseinanderliegen. Daß allerdings die Prüfung nur sinnvoll ist, wenn bestimmte Bedingungen hinsichtlich Leuchtdichte und Größe des Photometergesichtsfeldes eingehalten werden, wird später noch gezeigt werden.

III.

Ist also die Prüfung der Frage nach der Befolgung des Additivitätsgesetzes durch ein photometrisches Verfahren noch im wesentlichen nach rein physikalischen Gesichtspunkten möglich, so ist die Klärung der zweiten Bedingung, ob die Bewertung der gemessenen Lichter nach der spektralen Hellempfindlichkeit des normalen menschlichen Auges, d. h. V_λ-gemäß, erfolgt, wesentlich schwieriger und auch keineswegs mehr allein nach physikalischen Gesichtspunkten durchführbar. Hierbei spielen vielmehr die physiologischen Fragen eine ausschlaggebende Rolle.

Von diesen physiologischen Fragen wollen wir zunächst die folgenden behandeln:

1. Was ist überhaupt unter spektraler Hellempfindlichkeit zu verstehen?

2. Bei welchen Beobachtern ist die spektrale Hellempfindlichkeit als normal zu bezeichnen?

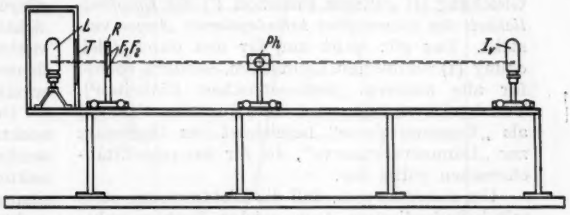


Fig. 1. Meßanordnung zur Prüfung eines photometrischen Verfahrens auf Befolgung des Additivitätsgesetzes.

3. Welchen Verlauf hat die normale spektrale Empfindlichkeit?

Die Netzhaut unseres Auges weist zwei verschiedene Sehapparate auf: die nach der Netzhautgrube zu konzentrierten Zapfen und die hauptsächlich in der Netzhautperipherie liegenden Stäbchen. Mit den Stäbchen sehen wir in der Dämmerung und im Dunkeln; sie sind also besonders lichtempfindlich. Mit den Zapfen sehen wir bei normaler Beleuchtung. Sie sind weniger empfindlich als die Stäbchen, dafür aber vermitteln sie uns die farbigen Eindrücke und auf Grund ihrer Konzentrierung in der Netzhautgrube auch ein scharfes Abbild des Gesehenen. Der Wellenlängenbereich der elektromagnetischen Strahlung, auf den die beiden Sehapparate reagieren, ist annähernd der gleiche (etwa 400 bis rd. 760 mμ). Nicht gleich jedoch ist die Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Wellenlänge, und zwar läßt sich leicht nachweisen[1]), daß die Stäbchen gegen-

[1]) Ein einfacher, aber korrekter Versuch hierzu ist folgender: Man mache sich ein Diapositiv, das zur Hälfte aus einem Rotfilter, z. B. Schottfilter RG 1 (2 mm) und einem Blaufilter, z. B. BG 12 (2 mm) besteht, und projiziere dieses Diapositiv in üblicher Weise auf die Bildwand. Der rotbeleuchtete Teil der Leinwand wird eindeutig heller aussehen als der blaubeleuchtete. Dann aber halte man ein nicht selektives Graufilter mit einer Durchlässigkeit in der Größenordnung von 0,5% vor das Objektiv des Projektions-

über den Zapfen eine nach dem Kurzwelligen zu verschobene spektrale Empfindlichkeit besitzen.

Aus diesem Unterschied ergibt sich, daß die Eindeutigkeit eines photometrischen Ergebnisses nur gewährleistet sein kann, wenn man entweder mit den Stäbchen, d. h. dunkeladaptiert, oder mit den Zapfen, also helladaptiert, photometriert. Die Entscheidung, in welchem Zustand das Auge messen soll, ist leicht. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, ist der Zweck der Verwendung natürlichen oder künstlichen Lichtes die Aufhellung unserer Umwelt in einem solchen Umfang, daß wir deutlich sehen können. Die Bewertung der diesen Zustand herbeiführenden Lichter oder der so beleuchteten Umgebung ist daher nur sinnvoll, wenn sie mit helladaptiertem Auge erfolgt. Wir können also die ersten der oben gestellten 3 Fragen dahingehend beantworten, daß man unter spektraler Hellempfindlichkeit im Sinne der für Gleichung (1) gültigen Funktion V_λ *die Empfindlichkeit des einwandfrei helladaptierten Auges* versteht. Das gilt nicht nur für den durch Gleichung (1) definierten Lichtstrom, sondern ebenso für alle anderen photometrischen Einheiten[2]). Von den Physiologen wird diese Funktion $V_\lambda = f(\lambda)$ als „Tageswertkurve" bezeichnet (im Gegensatz zur „Dämmerwertkurve", die für das reine Stäbchensehen gültig ist).

Um sicher zu sein, daß die Lichtmessung stets mit helladaptiertem Auge erfolgt, liegt es nahe, nicht nur die Leuchtdichte des Gesichtsfeldes genügend hoch, sondern auch seine Größe so klein zu halten, daß nur die Netzhautgrube, in der sich ausschließlich Zapfen befinden, Licht erhält. Dieser Vorschlag ist häufiger gemacht und insbesondere von ROSENBERG[3]) durch Messungen als richtig belegt worden, er hat aber den großen Nachteil, daß das Photometergesichtsfeld relativ klein werden muß (max. 1,5°) und hierunter — namentlich bei weniger geübten Beobachtern — die Einstellgenauigkeit leidet. Dies wird nicht durch den Vorteil aufgewogen, daß man dabei hinsichtlich der zulässigen Gesichtsfeldleuchtdichte größere Bewegungsfreiheit nach niedrigeren Werten zu hat. Während nach den Angaben ROSENBERGS die Gesichtsfeldleuchtdichte bei einem Feld von 1,5° Werte bis zu etwa 1 asb[4]) herab annehmen darf, ohne daß eine Umadaptation des Auges sich auf die Messung auswirkt, müssen bei den gebräuchlichen Größen der Gesichtsfelder in den meisten Photometern (bis zu 8°!) höhere Gesichtsfeldleuchtdichten bei der Messung eingehalten werden, um eine Beteiligung der Stäbchen am Helligkeitseindruck auszuschließen. Für das imner noch kleine Gesichtsfeld von 3° gibt ROSENBERG beispielsweise als untere Grenze bereits eine Leuchtdichte von rd. 10 asb an. Man geht also nicht fehl in der Feststellung, daß für die übliche Photometerfeldgröße eine Gesichtsfeldleuchtdichte von 25 asb nicht unterschritten werden sollte. Inwieweit auch unter diesen einschränkenden Bedingungen für Größe und Leuchtdichte des Gesichtsfeldes ein bei jedem Beobachter wirklich eindeutiger Verlauf der spektralen Hellempfindlichkeit vorhanden ist, wird später noch zu besprechen sein.

Die zweite Frage, bei welchen Beobachtern die spektrale Hellempfindlichkeit als normal zu bezeichnen ist, läßt sich folgendermaßen beantworten: Derjenige Beobachter, der normal farbensichtig, d. h. farbtüchtig ist, hat auch eine normale spektrale Hellempfindlichkeit. Die Prüfung auf normale Farbensichtigkeit erfolgt entweder mit dem Anomaloskop oder mit Farbtafeln, z. B. von STILLING[5]) oder ISHIHARA[6]). Für die speziellen Zwecke der heterochromen Photometrie hat sich das *Y/B*-Verfahren von IVES[7]) eingebürgert und bewährt. Es besteht in der flimmerphotometrischen Messung der visuellen Gesamtdurchlässigkeit einer gelben (*Y*ellow) und einer blauen (*B*lue) Filterlösung im Glühlampenlicht einer Farbtemperatur von 2080° K bei einer Gesichtsfeldleuchtdichte von 25 asb und einer Gesichtsfeldgröße von 2°. Die gelbe Filterlösung besteht aus 72 g reinen Kaliumbichromats, die blaue aus

---

apparates und lasse das Auge sich an die geringere Leuchtdichte der Bildwand adaptieren. Sehr bald wird man beobachten können, wie das blaue Feld zwar abgeblaßt, aber wesentlich heller zu sein scheint als das vordem rote Feld, von dem man einen ganz dunkelroten, beinahe schon ins Schwarze gehenden Eindruck hat. Die Erscheinung ist um so deutlicher, unter je größerem Gesichtswinkel die Farbflächen dem Beobachter dargeboten werden; sie wird bekanntlich als *Purkinje-Phänomen* bezeichnet.

[2]) Eine Ausnahme machen nur die erst kürzlich für die Zwecke der Luftschutzbeleuchtung eingeführten beiden neuen Grundgrößen „Dunkelleuchtdichte" und „Dunkelbeleuchtungsstärke", die sich auf das dunkeladaptierte Auge beziehen. Vgl. A. DRESLER, Grundlagen der Dunkelleuchtdichte. Licht 10, 112—114 (1940) und Messung und Berechnung von Dunkelleuchtdichte und Dunkelbeleuchtungsstärke. Licht 10, 118—120 u. 146—147 (1940).

[3]) G. ROSENBERG, Über den Funktionswechsel im Auge. Die Grenzen des Purkinjeschen Phänomens. Z. Sinnesphysiol. 59, 103—127 (1928).

[4]) Eine Fläche hat die Leuchtdichte 1 Apostilb (asb), wenn das Produkt aus der auf ihr herrschenden Beleuchtungsstärke in *lx* und ihrem Reflexionsgrad 1 beträgt (streng nur für diffus reflektierende Flächen gültig). Die Originalzahlen ROSENBERGS sind Beleuchtungsstärken auf dem Photometerschirm; sie wurden auf Grund der für das von ihm verwendete Photometer bekannten Beziehungen zwischen Schirmbeleuchtungsstärke und Gesichtsfeldleuchtdichte in asb umgerechnet.

[5]) J. STILLING, Pseudo-isochromatische Tafeln, 20. Aufl. (herausgeb. von HERTEL). Leipzig: Georg Thieme 1939.

[6]) S. ISHIHARA, Tests for color blindness, 7th Ed. Tokio: Kanehara 1936.

[7]) Vgl. E. C. CRITTENDEN u. P. K. RICHTMYER, An average eye for heterochromatic photometry and a comparison of a flicker and equality of brightness photometer. Bull. Bur. Stand, 14, 87—113 (1918) (Sci. Pap. Nr 299).

57 g reinen Kupfersulfats, in je 1 l dest. Wassers gelöst und in einer Schichtdicke von je 10,0 mm benutzt. Farbtüchtige Beobachter messen für beide Filterlösungen unter den geschilderten Meßbedingungen im Mittel die gleiche Durchlässigkeit. Für das normale Auge ist also $Y/B \approx 1$. Beobachter, deren Y/B kleiner als 0,92 oder größer als 1,08 ist, sind mit hoher Wahrscheinlichkeit farbuntüchtig. So erhält man beispielsweise bei Deuteranomalen ein Y/B zwischen 1,12 und 1,25.

Mit keinem der angegebenen Verfahren, auch nicht mit dem Anomaloskop, kann man die Auswahl der Beobachter so eng begrenzen, daß man sicher wäre, nur Beobachter mit genau gleicher spektraler Hellempfindlichkeit herauszufinden. Auch die nach strengstem Maßstab als farbtüchtig ausgesiebten Beobachter haben photometrisch nicht immer vernachlässigbare Unterschiede in ihren spektralen Hellempfindlichkeiten. Aus diesem Grunde ist es in kritischen Fällen wichtig, sich nicht auf einen oder zwei Beobachter, selbst wenn deren Y/B zwischen 0,98 und 1,02 liegt, zu verlassen, sondern stets mehrere Beobachter, deren mittleres Y/B natürlich möglichst nahe bei 1 liegen soll, heranzuziehen.

Über den Verlauf der normalen spektralen Hellempfindlichkeit selbst sind bis in die letzte Zeit hinein viele Arbeiten veröffentlicht worden. Eine gute Übersicht vermittelt eine neuere Arbeit von GIBSON[8]); ausführlicher, unter besonderer Berücksichtigung der Veröffentlichungen zwischen 1935 und 1939, ist der Bericht des Ungarischen Komitees der Internationalen Beleuchtungskommission (IBK) anläßlich der 10. Vollversammlung der IBK in Scheveningen, Juni 1939[9]). Die übrigen Veröffentlichungen über die spektrale Hellempfindlichkeit zerfallen zeitlich und inhaltlich in 2 Gruppen:

a) Arbeiten aus den Jahren 1912—1923, die zur provisorischen internationalen Festlegung der spektralen Hellempfindlichkeit im Jahre 1924 führten.

b) Arbeiten aus den Jahren 1936—1940, in denen die Richtigkeit der 1924 empfohlenen V_λ-Werte teils angezweifelt, teils bestätigt sind und deren Widersprüche dann im wesentlichen durch die Entdeckung einer jahreszeitlichen Schwankung der spektralen Hellempfindlichkeit aufgeklärt werden konnten.

Die auf Grund der bis 1923 vorliegenden Untersuchungen aus Messungen an insgesamt 200 Beobachtern gebildete V_λ-Kurve, die sog. IBK-Kurve, zeigt Fig. 2. Ihr besonderes Kennzeichen ist, daß die ihr zugrunde liegenden Meßergebnisse nach unterschiedlichen Verfahren und unter ziemlich verschiedenen Beobachtungsbedingungen gewonnen wurden. So schwankte die Beleuchtungsstärke auf der Netzhaut zwischen 5 und 160 Photon[10]), war bei manchen Forschern über das ganze Spektrum konstant, bei anderen in den Randgebieten des sichtbaren Spektrums wesentlich niedriger als im mittleren Bereich. Verhältnismäßig gute Übereinstimmung herrschte dagegen bei den Gesichtsfeldgrößen. Es wurde nur bei 2 oder 3° gemessen. Verfahrenstechnisch wurden 3 Wege beschritten:

1. das Flimmerverfahren,
2. der direkt heterochrome Vergleich und
3. das Kleinstufenverfahren.

Beim Flimmerverfahren und beim direkt heterochromen Vergleich wird Wellenlänge für Wellenlänge des sichtbaren Lichtes unmittelbar gegen

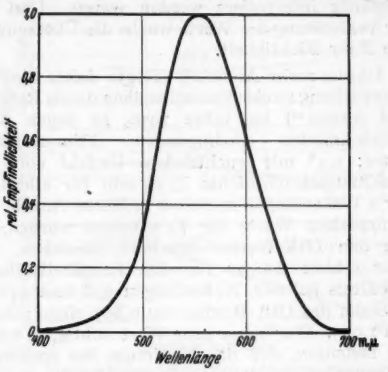


Fig. 2. Die IBK-Kurve der spektralen Hellempfindlichkeit.

das Licht der Photometervergleichslampe (einer normalen Glühlampe) gemessen, während beim Kleinstufenverfahren die Genauigkeit der Einstellung gegenüber dem direkt heterochromen Vergleich dadurch erhöht wird, daß man zwei benachbarte Wellenlängen miteinander vergleicht, in kleinen Stufen durch das Spektrum schreitet und dabei jedes Meßergebnis unter Bezugnahme auf das vorhergehende auswertet.

Man wird vielleicht fragen, ob eine solche Vermengung von nach ganz verschiedenen Verfahren gewonnenen Meßwerten überhaupt zulässig war. Sicher ist, daß jedes der 3 Verfahren seine Vor- und seine Nachteile hat. Ebenso gewiß ist aber auch, daß flimmerphotometrische Messungen meistens mit direkt heterochromen nicht übereinstimmen und diese wieder von Werten, die nach dem Kleinstufenverfahren erhalten wurden, mehr oder weniger abweichen. Wir werden noch sehen, daß für diese Unterschiede in erster Linie die Nichtbefolgung des Additivitätsgesetzes durch den direkt heterochromen Vergleich und die nur be-

[8]) K. S. GIBSON, Spectral luminosity factors. J. Opt. Soc. Amer. 30, 51—61 (1940).

[9]) Von diesem Bericht liegen erst einige wenige Vorabdrucke vor. Die Veröffentlichung erfolgt im Rahmen der offiziellen Tagungsberichte, die erst nach Kriegsende erscheinen können.

[10]) Die Beleuchtung von 1 Photon erhält die Netzhaut, wenn das Auge durch eine Pupillenöffnung von 1 mm² auf eine Fläche mit der Leuchtdichte von π asb blickt.

dingte Befolgung durch das Flimmerverfahren verantwortlich ist. So sorgfältig und gewissenhaft nach dem damaligen Stand der Erkenntnis die Auswahl und Festlegung der dann von der IBK empfohlenen Werte für V_λ durch GIBSON und TYNDALL[11]) erfolgt ist, so wenig würde man heute in derselben Weise vorgehen dürfen. Dank der Autorität des National Bureau of Standards in Washington und der IBK haben sich die 1924 von letzterer provisorisch angenommenen Zahlenwerte von V_λ in kurzer Zeit durchgesetzt; sie wurden als Werte der sog. „internationalen Augenempfindlichkeitskurve" in die Handbücher aller Kulturnationen übernommen, insbesondere nachdem die für den praktischen Gebrauch der Kurve wichtigen Zwischenwerte von JUDD[12]) sorgfältig interpoliert worden waren. Und mit der Verbreitung der Werte wuchs die Überzeugung von ihrer Richtigkeit.

Um so mehr Aufsehen erregte daher die Veröffentlichung zweier Versuchsreihen durch RIECK[13]) und ARNDT[14]) im Jahre 1936, in denen unter wohldefinierten Bedingungen (Flimmerphotometer: 1,5° mit leuchtendem Umfeld von 30°, Gesichtsfeldleuchtdichte $\geqq$ 15 asb) für allerdings nur 2 Wellenlängen mit einer größeren Anzahl von Beobachtern Werte für V_λ erhalten wurden, die von den IBK-Werten erheblich abwichen, und zwar erhielt ARNDT für das Empfindlichkeitsverhältnis bei den Wellenlängen 578 und 546 mμ an Stelle des IBK-Wertes von 0,897 einen solchen von 1,035. War dieser neue Wert richtig, so würde das bedeuten, daß das Maximum der spektralen Hellempfindlichkeit an Stelle des IBK-Wertes von 555 mμ bei 565 mμ liegen würde. ARNDTS Meßergebnisse konnten durch DRESLER[15]) bestätigt werden. Er erhielt unter ähnlichen Meßbedingungen (Flimmerphotometer: 1,2° und 7° ohne Umfeld, Gesichtsfeldleuchtdichte 8—10 asb) für das Empfindlichkeitsverhältnis bei 589 und 546 mμ ebenfalls einen Wert, der in gleicher Richtung vom IBK-Wert abwich. Aus der Messung der visuellen Gesamtdurchlässigkeiten vierer verschiedener Farbfilter unter den gleichen Meßbedingungen wurde außerdem von DRESLER der ganze Verlauf des neuen V_λ berechnet. FORSYTHE BARNES und SHRIDER[16]) hingegen bestätigten für 578 und 546 mμ die IBK-Empfindlichkeitswerte an 18 Beobachtern, ebenfalls mit Flimmerphotometer bei 2° und 25 asb. Ein sehr ähnliches Ergebnis erhielt PRESTON[17]) in seiner ersten Veröffentlichung unter denselben Meßbedingungen wie FORSYTHE und seine Mitarbeiter. Auf der anderen Seite erschienen wieder weitere Arbeiten, die über größere Abweichungen von den IBK-Werten berichteten. Neben den nur für 2 Beobachter nach der Kleinstufenmethode bestimmten Verlauf von V_λ durch FEDOROV und FEDOROVA[18]) ist hier vor allem die Arbeit von JAGGI[19]) aus dem Eidg. Amt für Maß und Gewicht zu nennen. JAGGI konnte sowohl bei verhältnismäßig hohen Leuchtdichten (6000 asb) wie im normalen Leuchtdichtebereich (50 asb) teils bei unmittelbarer Messung von V_λ, teils bei Berechnung von V_λ aus Farbfiltermessungen an 14 Beobachtern recht erhebliche Abweichungen zu den IBK-Werten feststellen, wenn es ihm auch nicht gelang, die von DRESLER im Langwelligen ermittelten Abweichungen voll zu bestätigen. Kurze Zeit darauf erschien eine ausführliche Arbeit von JAINSKI[20]), der in enger Anlehnung an die grundlegenden älteren Arbeiten von IVES[21]) mit 60 Beobachtern flimmerphotometrisch bei einem Gesichtsfeld von 1,2° und einer berechneten Gesichtsfeldleuchtdichte von 200—800 asb die Ergebnisse von ARNDT und DRESLER trotz der wesentlich höheren Leuchtdichte in vollem Umfange bestätigen konnte. Auch JAINSKIS mittlere Kurve liegt mit ihrem Maximum gegenüber der IBK-Kurve um 10 mμ nach dem Langwelligen verschoben zu. In Fig. 3 sind die von DRESLER, JAGGI und JAINSKI angegebenen V_λ-Kurven in ihren Abweichungen gegen die IBK-Kurve zusammengestellt.

Aus den bis jetzt zitierten Arbeiten war eine eindeutige Schlußfolgerung nicht möglich. Die Widersprüche zwischen den an den verschiedenen Stellen, auch unter vergleichbaren Meßbedingun-

[11]) K. S. GIBSON, E. P. T. TYNDALL, Visibility of radiant energy. Sci. Pa. Bur. Stand. **19**, Nr 475, 131—151 (1923—1924).

[12]) D. B. JUDD, Extension of the standard visibility function to intervals of 1 millimicron by third-difference osculatory interpolation. Bur. Stand J. Res., Wash. **6**, 465—471 (1931).

[13]) J. RIECK, Messungen mit einer verbesserten Filterzelle an technischen Lichtquellen. Licht **7**, 213—216 (1937).

[14]) W. ARNDT, Über neue Beobachtungen beim subjektiven Photometrieren. Licht **6**, 75—77 (1936).

[15]) A. DRESLER, Beitrag zur Photometrie farbiger Lichtquellen, insbesondere zur Frage des Verlaufes der spektralen Hellempfindlichkeit. Licht **7**, 81—85 u. 107—109 (1937).

[16]) W. E. FORSYTHE, B. T. BARNES and ANN SHRIDER, Photometry of colored light sources. J. opt. Soc. amer. **28**, 241—248 (1938).

[17]) J. S. PRESTON, The relative luminosity of radiation at wavelengths 5780 and 5461 A. for the average photometric observer. Proc. phys. Soc., Lond. **50**, 398—408 (1938).

[18]) N. T. FEDOROV u. V. I. FEDOROVA, On the problem of the curve of the spectral sensitivity of the eye. C. R. (Doklady) de l'Acad. Sci. l'USSR. **2** (11), 9 (95), 377—380 (1936).

[19]) M. JAGGI, Beitrag zur Kenntnis der spektralen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges auf Grund flimmerphotometrischer Messungen. Helv. phys. Acta **12**, 77—108 (1939).

[20]) P. JAINSKI, Die spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges und ihre Bedeutung für die Lichtmeßtechnik. Diss. T. H. Berlin (1938) und Union, Deutsche Verlagsgesellschaft Berlin 1938; auszugsweise auch P. JAINSKI, Neue Untersuchungen über die spektrale Hellempfindlichkeit. Licht **8**, 245—248 (1938).

[21]) Vgl. Fußnote 8.

gen, gewonnenen Ergebnissen erschienen unerklärlich. Einen wichtigen Hinweis enthielt allerdings bereits die Arbeit von JAGGI in der Feststellung der großen Leuchtdichteabhängigkeit des flimmerphotometrisch bestimmten V_λ im Roten. DRESLER[22]) wies ebenfalls hierauf hin, indem er zeigte, daß die Messung der visuellen Gesamtdurchlässigkeit eines Rotfilters mit dem Flimmerphotometer sehr stark leuchtdichteabhängig ist. Fig. 4 zeigt in Erweiterung der damals veröffentlichten Ergebnisse die Abhängigkeit der visuellen Gesamtdurchlässigkeit von vier verschiedenen Farbfiltern von der Gesichtsfeldleuchtdichte. Durch diese Messungen war auf der einen Seite zwar geklärt, warum zwischen den Messungen DRESLERS bei 8—10 asb und denjenigen JAGGIS bei 50 asb im

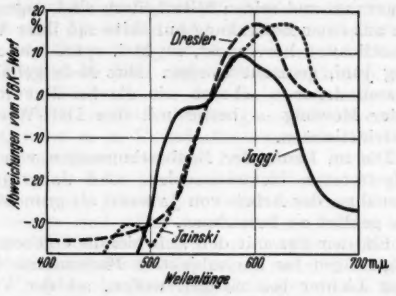


Fig. 3. Abweichungen der von DRESLER, JAGGI und JAINSKI bestimmten V_λ-Kurven vor den IBK-Kurven.

Roten eine Abweichung vorlag, nicht zu verstehen aber war, warum JAINSKI bei 200—800 asb dieselben Werte für V_λ im Roten erhielt wie DRESLER bei 8—10 asb, statt sich den mit Recht niedrigeren Werten JAGGIS bei 6000 asb zu nähern. Diese Diskrepanz hat sich mit Sicherheit nicht klären lassen. Wahrscheinlich sind die Leuchtdichteangaben JAINSKIS viel zu hoch ausgefallen, weil nicht darauf geachtet wurde, daß die künstliche Pupille des Photometerokulars kleiner als die natürliche Pupille des Beobachterauges war. Dann aber ist die wirksame Leuchtdichte des Gesichtsfeldes natürlich wesentlich kleiner als die von JAINSKI errechnete. Seine V_λ-Kurve kann, vor allem unter Berücksichtigung der von ihm selbst gefundenen, sonst unverständlichen Abhängigkeit von der Gesichtsfeldgröße, bei keiner Leuchtdichte gemessen worden sein, die nennenswert höher als 10 asb lag.

Die restlichen Diskrepanzen zwischen den angelsächsischen Arbeiten auf der einen Seite und den mitteleuropäischen auf der anderen konnten inzwischen auch geklärt werden. PRESTON[23]) veröffentlichte in einer zweiten Arbeit Ergänzungsmessungen mit dem zunächst befremdenden Ergebnis, daß eine Wiederholung der Messung des Empfindlichkeitsverhältnisses für die Wellenlängen 578 und 546 mμ mit fast den gleichen Beobachtern nach 8 Monaten zu einem nennenswert anderen Ergebnis geführt habe. Während im Juli 1937 0,912 gemessen worden war, erhielt PRESTON im März 1938 0,957, ein Unterschied, der fast die Hälfte der ganzen zur Debatte stehenden Differenz zwischen den IBK- und den ARNDT-DRESLERschen Messungen ausmacht. Eine dritte Messung im Oktober 1938 lieferte den Wert 0,942. Es sind dies Anzeichen für eine jahreszeitliche Abhängig-

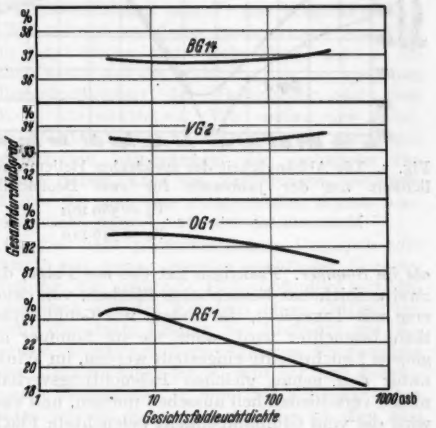


Fig. 4. Die Abhängigkeit des flimmerphotometrisch bestimmten Gesamtdurchlaßgrades verschiedener Farbfilter von der Gesichtsfeldleuchtdichte. (Gesichtsfeldgröße: 1,5°.)

keit der spektralen Hellempfindlichkeit, deren Ursache von PRESTON in Ernährungszuständen, z. B. Vorrat des Körpers an Vitamin A, vermutet wird. Zeiten eines Vitamin A-Mangels müßten danach die spektrale Empfindlichkeit nach längeren Wellenlängen verschieben. Da die amerikanische Ernährung besonders reich an Vitamin A ist, sieht PRESTON in diesen Ergebnissen eine Erklärung dafür, warum die neueren mitteleuropäischen Untersuchungen gegenüber der ja ausschließlich auf amerikanischen Messungen beruhenden IBK-Kurve ein längerwelliges Maximum für V_λ ergeben mußten.

Daß die durch PRESTONS Messungen sich andeutende jahreszeitliche Abhängigkeit der spektralen Hellempfindlichkeit wirklich besteht, wurde von DRESLER[24]) bestätigt. Zwei Beobachter führten werktäglich, in der Zeit vom 1. November 1938 bis zum 20. November 1939, zwei Meßreihen der Hellempfindlichkeitsbestimmung bei 546, 578 und 589 mμ durch. Für das Empfindlichkeitsverhält-

[22]) A. DRESLER, Aktuelle Fragen der Lichtmessung. Z. techn. Phys. 19, 369—372 (1938).

[23]) J. S. PRESTON, The relative luminosity of radiation for the average photometric observer. Proc. phys. Soc., Lond. 51, 757—767 (1939).

[24]) A. DRESLER, Über eine jahreszeitliche Schwankung der spektralen Hellempfindlichkeit. Licht 10, 79—82 (1940).

nis bei den Wellenlängen 589 und 546 mμ zeigt Fig. 5 den jahreszeitlichen Gang der spektralen Hellempfindlichkeit an Hand der Monatsmittelwerte für beide Beobachter. In Übereinstimmung mit den Angaben PRESTONS stehen niedrigen Werten im Sommer hohe Winterwerte gegenüber. *Das Maximum der spektralen Hellempfindlichkeit liegt also im Winter bei einer längeren Wellenlänge*

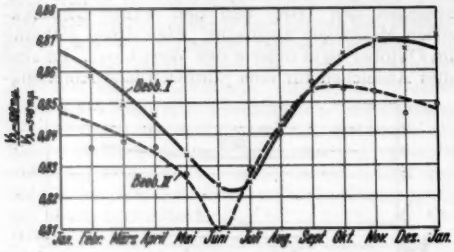


Fig. 5. Die Abhängigkeit der spektralen Hellempfindlichkeit von der Jahreszeit für zwei Beobachter. Monatsmittelwerte für $\frac{V_\lambda = 589\ \mathrm{m}\mu}{V_\lambda = 546\ \mathrm{m}\mu}$.

als im Sommer. Praktisch hat das zur Folge, daß zwei unmittelbar benachbarte Flächen, von denen eine mit Tageslicht, die andere mit Glühlampenlicht beleuchtet wird, wenn sie im Sommer auf gleiche Leuchtdichte eingestellt werden, im Winter unter den genau gleichen Beleuchtungsverhältnissen verschieden hell aussehen müssen, und zwar wird die vom Glühlampenlicht beleuchtete Fläche etwas heller aussehen, als die vom Tageslicht beleuchtete.

Die Messungen DRESLERS lassen eine weitere biologisch interessante Feststellung zu: Trägt man nämlich nicht die Monatsmittelwerte, sondern die Wochenmittelwerte auf, so erhält man Kurven

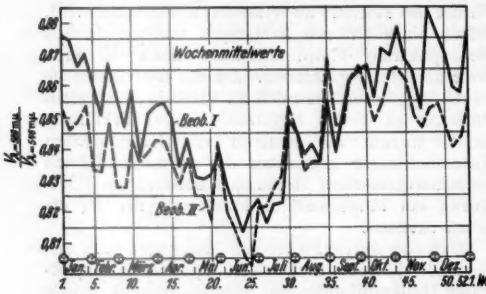


Fig. 6. Die Abhängigkeit der spektralen Hellempfindlichkeit von der Jahreszeit für zwei Beobachter. Wochenmittelwerte für $\frac{V_\lambda = 589\ \mathrm{m}\mu}{V_\lambda = 546\ \mathrm{m}\mu}$.

für beide Beobachter gemäß Fig. 6, bei denen die in regelmäßigen Abständen auftretenden Maxima und Minima besonders auffallen. Die Maxima liegen in 11 von insgesamt 12 Fällen in Wochen, in denen Vollmond war. Bei dieser guten Korrelation darf an der Echtheit des Phänomens wohl kaum gezweifelt werden. Beide Beobachter waren vollständig farbtüchtig und haben auch nie über eine Beeinflussung ihres Allgemeinbefindens durch die Mondphasen zu klagen gehabt, leiden beispielsweise auch nicht etwa unter Schlaflosigkeit in mondhellen Nächten. Daß kosmische Einflüsse auf die menschliche Phsychophysis in mannigfacher Form bekannt sind, zeigt HELLPACH[25]).

Berücksichtigt man, daß die obengenannten V_λ-Messungen von ARNDT, DRESLER, JAINSKI und JAGGI sämtlich in den Herbst- und Wintermonaten durchgeführt worden sind, so erklären sich die relativen großen Abweichungen zur IBK-Kurve jetzt ganz zwanglos. Die Messungen von FORSYTHE und seinen Mitarbeitern sind dagegen, wie aus einer Bemerkung auf Seite 246 ihrer Veröffentlichung hervorgeht, im Mai, spätestens Anfang Juni, gemacht worden. Ihre Meßergebnisse müssen daher — ebenso wie die bei PRESTONS erster Messung — besser mit den IBK-Werten übereinstimmen.

Die im Laufe der Neubestimmungen von V_λ aufgetretenen Meßunterschiede sind daher (mit Ausnahme der Arbeit von JAINSKI) als grundsätzlich geklärt zu bezeichnen.

Ehe wir uns mit den sich hieraus ergebenden Folgerungen für die subjektive Photometrie farbiger Lichter beschäftigen wollen, sei der Vollständigkeit halber noch über einige in ähnlicher Richtung liegende Arbeiten aus dem Helmholtz-Institut für Ophthalmologie in Moskau berichtet, nach denen die spektrale Augenempfindlichkeit (es muß mangels Leuchtdichteangaben dahingestellt bleiben, ob es sich um die Zapfen, die Stäbchen oder um beide Sehorgane handelt) durch eine größere Anzahl äußerer Reize beeinflußt wird. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Untersuchungsergebnisse bringt KRAVKOV[26]). Danach wird z. B. die Augenempfindlichkeit zwischen 450 und 550 mμ unter dem Einfluß akustischer Reize erhöht, während sie zwischen 580 und 650 mμ erniedrigt wird. Als akustischer Reiz diente dabei ein Ton von 800 oder auch von 2000 Hz bei einer Lautstärke von 90 Decibel. Im Bereich um 570 mμ trat keine Änderung der Augenempfindlichkeit ein. Die Empfindlichkeitsverschiebung wurde nach 2 Verfahren ermittelt: durch Bestimmung der Farbschwelle und mit Hilfe des Verschmelzungsfrequenzverfahrens. Ähnliche Verschiebungen der Augenempfindlichkeit erhält man nach KRAVKOV auch bei Reizung der Geruchs- und Geschmacksnerven sowie durch eine Wärmebestrahlung der Hände der Versuchsperson. KRAVKOV zieht aus seinen Messungen interessante Schlußfolgerungen zur YOUNG-HELMHOLTZschen

[25]) W. HELLPACH, Die wissenschaftliche Erkenntnis von den kosmischen Einflüssen auf die menschliche Psychophysis. Forsch. u. Fortschr. **16**, 37—40 (1940).

[26]) S. V. KRAVKOV, Some new findings on colour vision. Acta med. URSS **2**, 461—471 (1939).

Farbtheorie, auf die hier nicht eingegangen werden kann.

Die zu Beginn dieses Abschnittes gestellte dritte Frage nach dem Verlauf der normalen spektralen Hellempfindlichkeit ist also, wenn man das vorstehend Berichtete zusammenfaßt, dahingehend zu beantworten, *daß es einen eindeutigen Verlauf einer normalen spektralen Hellempfindlichkeit*, der für einen Beobachter über längere Zeiträume und über einen größeren Leuchtdichtebereich gilt, *in strengem Sinn offenbar nicht gibt.* Andererseits benötigt die Photometrie aber eine absolut eindeutige Beziehung zwischen Lichtstrom und Strahlungsleistung. Man ist daher zu einer mehr oder weniger willkürlichen Festlegung desjenigen Verlaufs von V_λ gezwungen, der als normale spektrale Hellempfindlichkeit des Auges gelten soll. Dieser Ansicht hat sich auch die Internationale Beleuchtungskommission auf ihrer letzten Tagung im Juni 1939 nicht verschlossen, sie hat vielmehr bestimmt, daß ein photometrisches Meßergebnis nur dann als richtig angesehen werden kann, wenn es in Übereinstimmung mit der Definitionsgleichung für den Lichtstrom nach der obengenannten Gleichung (1) ist, wobei für V_λ die im Jahre 1924 provisorisch angenommenen Werte einzusetzen sind. Die damit gewissermaßen bestätigte IBK-Kurve wurde aus Zweckmäßigkeitsgründen beibehalten, da es keinen anderen Verlauf von V_λ gibt, der einen besser begründeten Anspruch auf Eindeutigkeit erheben könnte. Gegenüber allen früheren Festlegungen besteht aber der prinzipielle Unterschied darin, daß man auf Grund der erweiterten physiologischen Erkenntnisse nicht mehr sagt, die IBK-V_λ-Werte *sind* die Werte der normalen spektralen Hellempfindlichkeit, sondern sie *gelten* nur noch (und zwar vereinbarungsgemäß) als solche.

IV.

Durch diese Entscheidung sind wir nunmehr auch in der Lage, die genauen Prüfungsbedingungen für die Brauchbarkeit eines photometrischen Verfahrens festzulegen. Wir hatten eingangs bereits festgestellt, daß die Grundvoraussetzungen die Befolgung des Additivitätsgesetzes und die V_λ-getreue Messung sind. Wir können jetzt eine wesentlich präzisere Formulierung aussprechen: Ein subjektives photometrisches Verfahren darf nur dann angewendet werden bzw. die mit ihm erhaltenen Meßergebnisse sind nur dann als richtig im Sinne der vereinbarten Definition des Lichtstroms zu bezeichnen, wenn mit Sicherheit gewährleistet ist, daß die wirksame mittlere spektrale Hellempfindlichkeit der zur Messung herangezogenen Beobachter für alle Messungen mit der IBK-V_λ-Kurve genau übereinstimmt und wenn gleichzeitig das Additivitätsgesetz in aller Strenge befolgt wird. Die Feststellung, ob letzteres der Fall ist, darf also, und damit kommen wir auf die bei der Besprechung des Additivitätsgesetzes gemachte Einschränkung zurück, nur unter solchen Bedingungen erfolgen, die von vornherein eine V_λ-getreue Messung verbürgen. Es hat also keinen Sinn, ein Verfahren auf Befolgung des Additivitätsgesetzes unter Bedingungen zu prüfen, bei denen eine Veränderung des bei der Messung wirksamen V_λ eintritt. Beide Bedingungen sind gewissermaßen abhängige Veränderliche geworden: Ändert sich V_λ bei Messungen, die zur Kontrolle des Additivitätsgesetzes dienen sollen, so erhält man automatisch ein Ergebnis, das auf Nichtaddivität schließen läßt. Trotzdem braucht das Verfahren an sich diese Eigenschaft nicht zu besitzen; sie wird durch die unzweckmäßige Wahl der Beobachtungsbedingungen und der hierdurch verursachten Veränderlichkeit von V_λ nur vorgetäuscht.

Wir müssen uns daher zunächst mit dem Problem beschäftigen, auf welche Weise man es erreichen kann, daß die wirksame mittlere spektrale Hellempfindlichkeit der Beobachter mit dem IBK-V_λ übereinstimmt. Wir wollen uns dabei, ohne Vollständigkeit anzustreben, auf diejenigen Möglichkeiten beschränken, die praktische Bedeutung haben, über die Erfahrungen vorliegen und über die man eine einigermaßen sichere Aussage machen kann.

Da bei dem photometrischen Vergleich von Lichtern mit genau gleicher spektraler Energieverteilung die spektrale Hellempfindlichkeit des Beobachters auf das Ergebnis ohne Einfluß ist, besteht die ideale Lösung des Problems der V_λ-getreuen subjektiven heterochromen Photometrie in der Umwandlung der an und für sich heterochromen Meßaufgabe in eine (für den sichtbaren Spektralbereich) iso*energetische*. Es ist dies also eine erweiterte, man kann auch sagen eine strengere Lösung des schon viele Jahre bekannten *Filterverfahrens*[27]). Unter dem Filterverfahren in klassischem Sinn versteht man die Verwandlung des heterochromen Vergleichs in einen iso*chromen* mit Hilfe eines vor die Normallichtquelle gesetzten Farbfilters, dessen spektraler Durchlaßgrad so beschaffen sein muß, daß das Filter dem Licht der Normallichtquelle die Farbe — also nicht etwa unbedingt die spektrale Energieverteilung — des zu messenden Lichtes verleiht. Zur quantitativen Auswertung der dann im isochromen Direktvergleich durchzuführenden photometrischen Einstellungen muß neben der Lichtstärke der Normallichtquelle auch ihre relative spektrale Energieverteilung im Sichtbaren (bei Wolframglühlampen durch die Bestimmung der Farbtemperatur zu erhalten) bekannt sein. Bedeuten I die Lichtstärke der ungefilterten Normallichtquelle, I_f die der gefilterten, E_λ die spektrale Energieverteilung der Normallichtquelle, τ_λ den spektralen Durchlaßgrad des verwendeten Farbfilters und V_λ die IBK-Werte der spektralen Hellempfindlichkeit, so ist:

$$J_f = J \frac{\int E_\lambda \tau_\lambda V_\lambda d\lambda}{\int E_\lambda V_\lambda d\lambda}. \qquad (2)$$

[27]) M. PIRANI, Zur Photometrie verschiedenfarbiger Lichtquellen. Z. Beleuchtungswes. **21**, 41—46 (1915).

Im allgemeinen, z. B. bei der Messung von Gasentladungslampen, wird die spektrale Energieverteilung des zu messenden Lichtes nicht gleich $E_\lambda \cdot \tau_\lambda \cdot d\lambda$ sein. Es gibt aber auch Fälle, so beim Vergleich verschieden belasteter Glühlampen, bei denen die niedriger belastete als Normallichtquelle dient und durch ein helles Blaufilter an die Farbe der höher belasteten Glühlampe angeglichen wird, wodurch auf beiden Seiten des Photometers praktisch die gleiche spektrale Energieverteilung gegeben ist. Von diesem Sonderfall abgesehen, besteht aber bei der heute üblichen Art der Filterung, je nach der Sorgfalt bei der Auswahl der Filter, ein mehr oder weniger guter Farbangleich zwischen Normallampe und zu messendem Licht bei gleichzeitig recht verschiedener spektraler Energieverteilung. Weicht unter solchen Meßbedingungen die spektrale Hellempfindlichkeit des Beobachters, sei es von sich aus, sei es durch die Wahl unzweckmäßiger Beobachtungsbedingungen (zu großes Gesichtsfeld von zu kleiner Leuchtdichte) von dem IBK-V_λ ab, so muß dies zu Fehlern führen. Die Abweichungen der tatsächlichen Hellempfindlichkeiten von dem IBK-V_λ gehen allerdings beim Filterverfahren, da für die Lichtstärke der gefilterten Normallampe ja das Soll-V_λ eingesetzt wird, nicht in vollem Betrage in das Meßergebnis ein. Wie KÖNIG[28]) am Beispiel der Natriumdampflampe ausführlich nachgewiesen hat, liegen die Fehler, die durch eine vom IBK-V_λ abweichende spektrale Hellempfindlichkeit, wie sie z. B. durch die 3 Kurven der Fig. 3 gegeben sind, bei Verwendung eines normalen Gelbfilters vom Typ des Schottfilters OG 2 zum Farbangleich der Glühlampe an die Natriumdampflampe in der Größenordnung von 3—5 %. Erst ein Filter, das im Gegensatz zum OG 2 nicht nur auf der kurzwelligen, sondern auch auf der langwelligen Seite der Natriumlinie scharf abschneidet, setzt bei solchen Hellempfindlichkeitskurven den Fehler genügend stark herab. Bei diesem Beispiel ist allerdings zu bedenken, daß die Verhältnisse bei der Natriumdampflampe wegen ihrer ausgesprochenen Monochromasie besonders kraß liegen. Bei anderen Gasentladungslampen mit mehreren über das sichtbare Spektrum verteilten Linien oder gar Banden sind die Verhältnisse wesentlich günstiger.

Die Forderung nach einer Anpassung der Normallichtquelle an die spektrale Energieverteilung der zu messenden Lichtquelle an Stelle einer reinen Farbangleichung muß aber trotzdem erhoben werden, weil nur sie die prinzipielle Lösung — auch in den kompliziertesten Fällen — verbürgt, selbst wenn sich ihrer Verwirklichung gelegentlich Schwierigkeiten in den Weg stellen und die Messung durch einen unter Umständen weniger guten Farbangleich zusätzlich erschwert wird.

[28]) H. KÖNIG, Über die bei subjektiven Präzisionsmessungen an Natriumlicht nach dem Filterverfahren notwendigen Meßbedingungen. Helvet. phys. Acta 12, 229—248 (1939).

Ein schlechter, aber auch schon ein mangelhafter Farbangleich bilden nämlich eine große Gefahrenquelle nicht nur weil die Einstellgenauigkeit des Photometrierenden darunter leidet, sondern vor allem, weil die Einstellung zweier nicht genau gleichfarbiger Flächen auf gleiche Leuchtdichte im normalen Gleichheitsphotometer nicht ohne Verstoß gegen das Additivitätsgesetz vor sich geht. Der erste, der hierauf hingewiesen hat, war HELMHOLTZ[29]), der bei heterochromen Helligkeitsvergleichen von dem *Zusammenwirken zweier Größen, nämlich Helligkeit und Farbenglut, spricht, für die er keine einfache Summe zu finden weiß und die er auch wissenschaftlich nicht definieren kann.* Viele Jahre später hat KOHLRAUSCH[30]) hierzu erstmalig quantitative Angaben veröffentlicht und gezeigt, daß beim direkten Vergleich zweier monochromatischer Strahlungen (λ = 660 und 550 mμ) im Helmholtz-Farbmischapparat Fehler von über 40 % auftreten können. Spätere von KOHLRAUSCH veröffentlichte Messungen[31]) ergaben unter anderen Versuchbedingungen noch größere Abweichungen. Seine Untersuchungen beweisen, daß stark gesättigte Lichter beim Vergleich mit weniger gesättigten leicht vom Auge überbewertet werden. KOHLRAUSCH nennt diese Erscheinung: „Das Wirksamkeitsplus der satteren Farbe." Den systematischen Zusammenhang zwischen Sättigungs- und Farbtonunterschieden im Photometergesichtsfeld auf der einen Seite und Abweichungen vom Additivitätsgesetz beim direkt heterochromen Vergleich auf der anderen wies dann DRESLER[32]) an Hand von direkt heterochromen und flimmerphotometrischen Messungen in einer Meßordnung gemäß Fig. 1 nach. Während die flimmerphotometrischen Messungen innerhalb des engen bei den Messungen eingehaltenen Leuchtdichtebereichs dem Additivitätsgesetz mit praktisch ausreichender Genauigkeit folgen, entstehen beim direkt heterochromen Vergleich systematische Abweichungen unter der Einwirkung von *„scheinbaren Leuchtdichteänderungen"*. Ein Teil der Messungen DRESLERS sind in Fig. 7 zusammengestellt. Diese Messungen bestanden aus dem direkt heterochromen und dem flimmerphotometrischen Vergleich eines farbigen Lichtes bekannter farbtongleicher Wellenlänge λ_t und bekannter Sättigung [spektraler Farbanteil σ[33])] mit einer normalen Glühlampe. Die scheinbare Leuchtdichteänderung ist der in Prozenten ausgedrückte Betrag, um den sich die direkt heterochrome Messung von der flimmer-

[29]) H. v. HELMHOLTZ, Handbuch der physiologischen Optik, 2. Aufl. 1896, 440.

[30]) A. KOHLRAUSCH, Die Gesichtsempfindungen. Tabulae biologicae 1, 316 (1925).

[31]) A. KOHLRAUSCH, Zur Photometrie farbiger Lichter. Licht 5, 259—260 u. 275—279 (1935).

[32]) A. DRESLER, Über den Einfluß von Farbton und Sättigung auf die Messung verschiedenfarbiger Lichter. Licht 7, 203—208 (1937).

[33]) Bezeichnungsweise nach DIN 5033: Bewertung und Messung von Farben.

photometrischen unterscheidet. Fig. 7 zeigt, daß mit wachsender Differenz in den farbtongleichen Wellenlängen und in den Sättigungen der beiden im Photometergesichtsfeld wahrgenommenen Leuchtdichten eine immer größere scheinbare Leuchtdichteänderung auftritt. Wichtig ist, daß auch bei verhältnismäßig kleinen Farbton- und Sättigungsunterschieden, die noch keine wesentliche Minderung der Einstellgenauigkeit bedeuten, bereits nennenswerte scheinbare Leuchtdichteänderungen auftreten. Auch bei Farbtongleichheit, aber verschiedener Sättigung, bewertet das Auge die gesättigtere Farbe zu hell. Die Angaben der Fig. 7 sind aus Messungen mit einem aus 2 Halbkreisen sich zusammensetzenden Photometerfeld mit Hilfe von 9 Beobachtern gewonnen worden; sie dürfen nur qualitativ, nicht aber

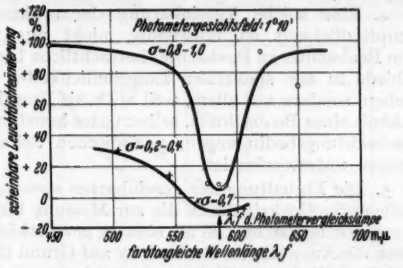


Fig. 7. Nichtbefolgung des Additivitätsgesetzes durch den direkt heterochromen Vergleich infolge des Auftretens scheinbarer Leuchtdichteänderungen beim Messen.

quantitativ verallgemeinert werden, denn bereits eine andere Form des Gesichtsfeldes beeinflußt unter sonst genau gleichen Bedingungen die Größe der scheinbaren Leuchtdichteänderung. So werden beispielsweise mit dem bekannten Trapezfeld, bei dem die verschiedenfarbigen Lichter in je 2 Teilflächen erscheinen, wesentlich niedrigere scheinbare Leuchtdichteänderungen gemessen, was offenbar darauf zurückzuführen ist, daß diese größere Unterteilung der verschiedenfarbigen Flächen dem Auge den Leuchtdichteabgleich erleichtert und es dem Einfluß der Farbton- und Sättigungsdifferenzen etwas entzieht[34]).

Für das uns interessierende Problem der Sicherung einer V_λ-getreuen Messung beim Filterverfahren folgt hieraus, daß die Einstellung auf gleiche Leuchtdichte nur dann mit einem normalen Gleichheitsphotometer erfolgen darf, wenn der Farbangleich zwischen gefilterter und zu messender Lichtquelle ein vollständiger ist. In allen anderen Fällen, und diese werden die Regel bilden, ist es zweckmäßig, an Stelle des Gleichheitsphotometers ein Flimmerphotometer zu benutzen. Über das Flimmerphotometer liegt genügend Versuchsmaterial vor, um mit Sicherheit sagen zu dürfen, daß bei den kleinen Farbdifferenzen, wie sie hier vorkommen, keinerlei Abweichungen vom Additivitätsgesetz auftreten.

Für die praktische Durchführung des erweiterten, auf die gleiche spektrale Energieverteilung abzielenden Filterverfahrens ist die Verwendung des Flimmerphotometers sogar unerläßlich, damit eine solche Anpassung ohne Rücksicht auf etwa verbleibende Farbdifferenzen im Gesichtsfeld vorgenommen werden kann.

Um die Gefahr einer nicht V_λ-getreuen Messung möglichst zu verringern, ist es zweckmäßig, zusätzlich darauf zu achten, daß

1. das mittlere Y/B der zur Messung herangezogenen Beobachter möglichst nahe bei 1,0 liegt und

2. die Gesichtsfeldgröße 2° und die Gesichtsfeldleuchtdichte zwischen 25 und 50 asb beträgt.

Diese beiden Bedingungen müssen um so genauer eingehalten werden, je schlechter die energetische Anpassung der Normallampe an die unbekannte Lichtquelle ist. Je besser die Anpassung gelingt, um so größere Bewegungsfreiheit hat man nicht nur in den photometrischen Bedingungen, sondern auch hinsichtlich der Hinzuziehung nicht ganz farbtüchtiger Beobachter.

Neben dem Filterverfahren und dem kombinierten Filter-Flimmerverfahren wird man gelegentlich, insbesondere bei technischen Messungen, auf die Suche nach geeigneten Anpassungsfiltern verzichten wollen und im reinen Flimmerverfahren, d. h. also unter Einwirkung der vollen jeweils vorliegenden Farbdifferenz, arbeiten. Die Kurven der Fig. 4 zeigen, daß hier eine gewisse Vorsicht notwendig ist, da zum mindesten im Langwelligen das Ergebnis leuchtdichteabhängig ist, wobei es im Effekt natürlich gleichgültig ist, ob man diese Abhängigkeit auf eine Verringerung der spektralen Hellempfindlichkeit im Roten (sog. inverser Purkinje-Effekt) oder auf eine Nichtbefolgung des Additivitätsgesetzes zurückführen will. Darüber hinaus geht der Verlauf der individuellen spektralen Hellempfindlichkeiten der Beobachter an sich in vollem Umfange in das Meßergebnis ein, was dazu führt, daß bei dem bereits genannten Beispiel der Natriumdampflampenmessung die in Fig. 3 gezeigten, von der IBK abweichenden Hellempfindlichkeiten Fehler in der Größenordnung von 10% verursachen. Will man daher mit reiner Flimmerphotometrie genügend V_λ-getreue Ergebnisse erhalten, so müssen die ebengenannten 2 Bedingungen hinsichtlich des mittleren Y/B und der Größe und Leuchtdichte des Gesichtsfeldes grundsätzlich und besonders sorgfältig eingehalten werden.

Alle anderen subjektiven Verfahren der heterochromen Photometrie sind entweder zu umständlich oder zu ungenau und befolgen nicht das Additivitätsgesetz. Zu der letzten Gruppe gehören vor allem die Peripheriemethode, die Minimalfeld- und die Minimalzeitmethode, das Stereoverfahren,

[34]) Vgl. auch J. VOOGD, Subjektive Photometrie. Philips techn. Rdsch. 5, 279–284 (1940).

die Sehschärfemethode und das Verschmelzungsfrequenzverfahren. Von den im Prinzip richtig arbeitenden Methoden seien hier noch kurz das trichromatische und das rechnerische Verfahren besprochen.

Beim trichromatischen Verfahren stellt man durch Mischung dreier verschiedenfarbiger Eichlichter bekannter Lichtstärke ein Vergleichslicht von der Farbe der zu messenden Lichtquelle her und kann dann im isochromen Direktvergleich mit dem Gleichheitsphotometer einstellen. Bei Auswahl der Beobachter nach ihrem Y/B und individueller Mischung der 3 Eichlichter durch jeden Beobachter auf besten Farbabgleich liefert das Verfahren Meßergebnisse, die den meisten technischen Ansprüchen vollauf genügen. Da es einen erheblichen apparativen Aufwand erfordert, ist es bis jetzt nur selten angewendet worden[35]).

Beim rechnerischen Verfahren umgeht man die eigentliche photometrische Messung, muß dafür aber die spektrale Energieverteilung des zu messenden Lichtes im absoluten Maß für das sichtbare Gebiet ermitteln. Diese Werte der spektralen Energieverteilung werden dann mit den zugehörigen Werten des IBK-V_λ multipliziert und dadurch in die entsprechenden photometrischen Größen übergeführt. Da die Messung der spektralen Energieverteilung eines Lichtes im absoluten Maß erheblichen technischen Schwierigkeiten begegnet, hat das rechnerische Verfahren zur Ermittelung der photometrischen Daten von Lichtquellen mehr prinzipielle[36]) als praktische Bedeutung. Häufig wird es jedoch dann angewendet, wenn es sich um die Bestimmung des Durchlaßgrades oder der Remission von Körperfarben handelt, da hierzu die Energieverteilung nur in relativen Werten bekannt zu sein braucht. Die beim Filterverfahren benötigte Lichtstärke der gefilterten Normallichtquelle nach der oben angegebenen Gleichung (2) enthält bereits den mathematischen Ausdruck für den Gesamtdurchlaßgrad D. Der Gesamtdurchlaßgrad D dieses Filters ist nämlich:

$$D = \frac{\int E_\lambda \tau_\lambda V_\lambda d\lambda}{\int E_\lambda V_\lambda d\lambda}, \qquad (3)$$

d. h. also:

$$D = \frac{J_f}{J}. \qquad (3a)$$

V.

Wenn wir hiermit am Schluß unserer Betrachtungen angelangt noch einmal kurz das uns wesentlich Erscheinende zusammenfassen, so finden wir folgendes:

1. Nur dasjenige Verfahren der subjektiven heterochromen Photometrie kann als zulässig erklärt werden, dessen Meßergebnisse eindeutig sind.

2. Die Eindeutigkeit ist gegeben, wenn das Verfahren dem Additivitätsgesetz folgt und wenn die spektrale Abhängigkeit der Augenempfindlichkeit des Beobachters während der Messung einen bestimmten *vereinbarten* Verlauf hat.

3. Als mittlere spektrale Hellempfindlichkeit des normalen Beobachters im Sinne dieser Vereinbarung gelten die im Jahre 1924 von der Internationalen Beleuchtungskommission empfohlenen Werte von V_λ (häufig als sog. internationale Augenempfindlichkeit bezeichnet).

4. Eine solche Vereinbarung der spektralen Empfindlichkeit ist notwendig, nicht nur weil von Beobachter zu Beobachter beträchtliche Unterschiede in den spektralen Empfindlichkeiten bestehen, sondern vor allem, weil auch die Empfindlichkeit eines Beobachters, selbst unter konstanten Beobachtungsbedingungen, periodischen Schwankungen unterworfen ist.

5. Die Einhaltung der vereinbarten spektralen Hellempfindlichkeit durch die zur Messung hinzugezogenen Beobachter ist am ehesten gewährleistet, wenn die Auswahl der Beobachter auf Grund ihres Y/B-Verhältnisses ($Y/B \approx 1$) erfolgt und die Messung bei einer Gesichtsfeldgröße von 2° und eine Gesichtsfeldleuchtdichte zwischen 25 und 50 asb durchgeführt wird.

6. Von den zahlreichen Möglichkeiten, dem Auge ein Urteil über die Leuchtdichte zweier verschiedenfarbiger Flächen zu gestatten, genügen nur sehr wenige den Eindeutigkeitsbedingungen, in erster Linie das Filter- und das Flimmerverfahren.

7. Ein mit Sicherheit richtiges Meßergebnis ist beim Filterverfahren nur dann gewährleistet, wenn die Methode in dem Sinne angewendet wird, daß man durch die Filterung die spektrale Energieverteilung der Normallampe im Sichtbaren der der zu messenden Lampe gleichmacht. Hierbei etwa verbleibende kleine Farbunterschiede können durch Benutzung des Flimmerphotometers an Stelle des Gleichheitsphotometers leicht überbrückt werden, ohne daß Gefahr besteht, daß das Ergebnis nicht mit dem Additivitätsgesetz in Einklang steht.

8. Mit Ausnahme des trichromatischen und des rechnerischen Verfahrens sind alle übrigen Verfahren, insbesondere der direkt heterochrome Vergleich, als fehlerhaft abzulehnen; selbst bei kleinen Farbdifferenzen im Photometergesichtsfeld treten beim direkten Abgleich systematische Fehler auf.

---

[35]) Vgl. z. B. Comm. Int. de l'Eclairage, IX. Sess. Recueil des Trav. et Compte rendu des Séances, Cambridge, University Press 1937, 219—229.

[36]) H. KREFFT, Über die Eichung von Sperrschichtzellen für Lichtstrommessungen auf Grund der spektralen Empfindlichkeit. Licht 2, 203—206 (1932).

Die Pigmente der Ommin- und Ommatingruppe, eine neue Klasse von Naturfarbstoffen[1]).

Von ERICH BECKER, Berlin-Dahlem.

Als sehr günstiges Modell zur Untersuchung des Eingreifens der Gene in stoffliche Entwicklungsvorgänge hat sich die Augenpigmentbildung bei Insekten erwiesen. Es ließen sich Stoffe nachweisen, zu deren Bildung das Vorhandensein bestimmter Gene Voraussetzung ist und die ihrerseits bei den Versuchstieren (*Drosophila* und *Ephestia*) notwendige Glieder der zur Pigmentbildung führenden stofflichen Entwicklungskette sind[2]). Wie wir nachweisen konnten, läßt sich einer dieser „Genwirkstoffe" durch Kynurenin[3]) und α-Oxy-tryptophan[4]) ersetzen. Im Anschluß daran konnte DANNEEL zeigen, daß Kynurenin auch in vitro die Augen zur Ausfärbung bringt[5]); die damit wahrscheinlich gewordene Funktion des Kynurenins als Chromogen des Augenpigments konnte durch quantitative Bestimmung des Verhältnisses Kynureninzufuhr/Pigmentbildung bei *Ephestia* bestätigt werden (BECKER, unveröffentlicht).

Die Untersuchung der natürlichen Augenpigmente hat nun gezeigt, daß die Augenpigmente von *Ephestia* einer-

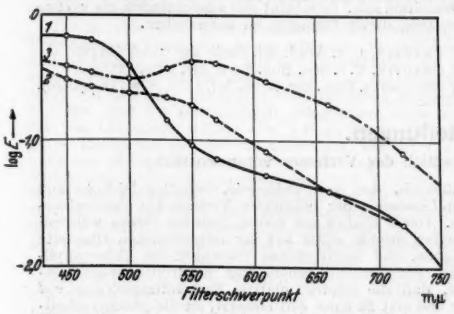


Fig. 1. Augenpigment (Phäommatin) von *Calliphora*, typische Farbkurven bei Messung im Stufenphotometer. 1. Oxydierte Form in Phosphat p_H 6,5. 2. Reduzierte Form in Phosphat p_H 6,5. 3. In konz. Schwefelsäure.

seits und *Drosophila* andererseits trotz gleicher Chromogene verschieden sind[6]). Die weitere Untersuchung dieser Pigmente hat aber ergeben, daß sie trotz ihrer augenfälligen Verschiedenheit nicht nur in ihrer Genese, sondern auch in ihrer Konstitution nahe miteinander verwandt sein müssen, und daß sie sich auf Grund charakteristischer Eigenschaften als eine neue Klasse von Naturfarbstoffen definieren lassen. Sie besitzen nicht nur als Augen-, sondern auch als Körperfarbstoffe im ganzen Stamm der Arthropoden weite Verbreitung; ihr Vorkommen auch in anderen Tierstämmen ist wahrscheinlich.

Die Farbstoffe vom Typus des *Drosophila*-Augenpigments, die ich *Ommatine* genannt habe[6]), sind im Tier in der Regel in mehr oder weniger reduzierter Form an einen den Skleroproteinen nahestehenden Träger gebunden; das Chromoproteid erfährt bei der Denaturierung deutlich einen Umschlag oder eine Vertiefung seiner Farbe nach rot. Sie werden nach ihrer Abspaltung bei der Aufarbeitung meist in ihrer oxydierten Form als in Lösung gelbe bis rötlichgelbe Farbstoffe erhalten. Ihre charakteristischste Eigenschaft ist ihr Redoxverhalten: Durch schwache Reduktionsmittel werden sie in eine tiefrote, offenbar semichinoide Form überführt, die sich schon in neutraler Lösung durch Luftsauerstoff wieder zur gelben Form reoxydieren läßt. Ein weiteres Charakteristikum dieser Farbstoffe ist ihre Halochromie; sie lösen sich in konzentrierter Mineralsäure ohne Veränderung (Ausnahme Salpetersäure) mit tief rot- bis blauvioletter Farbe. Fig. 1 zeigt das Spektrum des Augenfarbstoffes in oxydierter und reduzierter Form und in konzentrierter Schwefelsäure nach Messung im PULFRICH-Photometer. Das charakteristische Verhältnis der 3 Kurven kehrt im Prinzip bei allen Farbstoffen dieser Gruppe wieder. Weiter ist charakteristisch für die Ommatine ihre Stabilität gegen Säuren und eine ausgeprägte Alkaliempfindlichkeit, die teilweise so stark ist, daß schon bei p_H 9 bei Zimmertemperatur in kurzer Zeit irreversible Entfärbung eintritt.

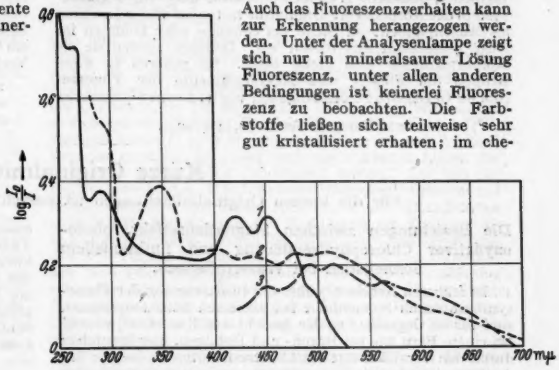


Fig. 2. Photoelektrisch aufgenommene Absorptionsspektren. 1. Eines basischen Ommatins aus den Exkreten von *Van. urticae* in oxydierter Form, 1,4 mg in 10 ccm Phosphat von p_H 6,5; d = 0,121 cm. 2. Von Skotommin aus den Augen von *Ephestia*, 1,281 mg in 10 ccm $n/2$-Soda; d = 0,508 cm. 3. Von der reduzierten Form eines sauren Ommatins aus dem Flügelpigment von *Van. urticae*, 1,4 mg in 10 ccm Phosphat von p_H 6,5; d = 0,121 cm.

Auch das Fluoreszenzverhalten kann zur Erkennung herangezogen werden. Unter der Analysenlampe zeigt sich nur in mineralsaurer Lösung Fluoreszenz, unter allen anderen Bedingungen ist keinerlei Fluoreszenz zu beobachten. Die Farbstoffe ließen sich teilweise sehr gut kristallisiert erhalten; im chemischen wie im analytischen Verhalten lassen sich stärker saure und stärker basische Einzelfarbstoffe unterscheiden. Die analytische Zusammensetzung ist ähnlich der der Gallenfarbstoffe, nur viel sauerstoffreicher; strukturelle Beziehungen sind aber nicht wahrscheinlich. Das lichtelektrisch gemessene Absorptionsspektrum eines oxydierten Ommatins zeigt Fig. 2, Kurve 1, eines anderen Ommatins in reduziertem Zustand Fig. 2, Kurve 3.

Die Farbstoffe vom Typus des *Ephestia*-Augenpigments, die ich *Ommine* genannt habe[6]), sind höher molekular als die Ommatine und im Gegensatz zu ihnen nicht dialysabel. Sie sind im Löslichkeitsverhalten, in ihrer polymeren Natur, in einer ausgesprochenen Reaktionsträgheit und einer deutlichen Empfindlichkeit gegenüber starken Oxydationsmitteln den Melaninen so ähnlich, daß alle früheren Untersucher sie für Melanine hielten. Doch sind sie von diesen durch folgende Eigenschaften auch mikro- und histochemisch einwandfrei zu trennen: Sie sind nicht dunkelgelbbraun wie Melanine, sondern deutlich tiefdunkelviolettbraun und lösen sich bei Zimmertemperatur sehr leicht in absoluter Ameisensäure und in verdünnten Alkalien mit intensiv roter Farbe; auch in mineralsaurem Alkohol und heißer 2 n-Schwefelsäure sind die Ommine im Gegensatz zu den Melaninen recht gut löslich. Oxydiert man die ungelöste Pigmentgranula oder die rote Lösung in Ameisensäure mit einer Spur Nitrit, so wird der Farbstoff hellgelb; nachfolgende Reduktion mit Hyposulfit ergibt wieder tiefrote Färbung

[1]) Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie (Abt. Kühn). Eingegangen den 28. März 1941.

[2]) Zusammenfassung: BECKER, Naturwiss. 26, 433 (1938). — PLAGGE, Erg. Biol. 17, 105 (1939).

[3]) BUTENANDT, WEIDEL u. BECKER, Naturwiss. 28, 63 (1940).

[4]) BUTENANDT, WEIDEL u. BECKER, Naturwiss. 28, 447 (1940).

[5]) DANNEEL, Biol. Zbl. (im Druck) (1941).

[6]) BECKER, Biol. Zbl. 59, 597 (1939).

(Melanin dagegen wird, wenn es überhaupt reagiert, durch Hyposulfit stark aufgehellt, durch Nitrit wieder zur dunklen Stufe oxydiert). Dieses Redoxverhalten und das Spektrum zeigen (Fig. 2, Kurve 2), daß die Ommine grundsätzlich der reduzierten Form der Ommatine gleichen; bei ihnen ist, anscheinend infolge der Polymerisation, die reduzierte Form so stabilisiert, daß sie sich auch in alkalischer Lösung nur langsam autoxydiert. Während das Spektrum von dem des Melanins deutlich verschieden ist, ist die analytische Zusammensetzung der Ommine der des Melanins recht ähnlich, andererseits steht sie auch der der Ommatine nahe. Die Halochromie ist nicht so charakteristisch wie die der Ommatine.

Die Ommatine und Ommine sind also chemisch vor allem durch ein gemeinsames Chromogen und durch ihr Redoxverhalten als zusammengehörig und als Vertreter einer neuen Naturfarbstoffgruppe gekennzeichnet. Diese Zusammengehörigkeit und Sonderstellung zeigt sich auch physiologisch, indem sie für bestimmte Pigmentsysteme typisch sind und sich innerhalb dieser Systeme von Tier zu Tier wechselnd vertreten können.

Ommine kommen bei den *Insekten* nicht nur als Augenpigmente, sondern, z. B. bei *Odonaten*, auch im Pigmentsystem des Körpers vor. Ommatine treten bei vielen Insekten als Augenpigment an Stelle der Ommine oder kommen im Auge gemeinsam mit diesen vor. Daneben spielen sie als Körperpigmente eine große Rolle. Es gehören in diese Gruppe die Flügel- und Exkretpigmente der *Vanessen* (die im Gegensatz zu den Angaben von v. LINDEN[7]) keinerlei Gallenfarbstoffreaktion zeigen) und anderer Schmetterlinge, Hautpigmente von Schmetterlingsraupen, rote und braune Pigmente von *Odonaten*, die Mehrzahl der Pigmente der MALPIGHIschen Gefäße und der Hüllepithelien von Hoden und Vasa deferentia, das rotbraune Pigment im Pigmentgewebe von *Nematocerens*larven, das rotbraune Pigment überwinternder *Chrysopa*-Weibchen. Bei der Wanderheuschrecke hat CHAUVIN ein Pigment der Haut[8]) und der Exkrete[9]) unter dem Namen *Acridioxanthin* beschrieben, das ein typisches Ommatin ist; das dunkle Farbwechselpigment von *Dixippus* ist dasselbe Ommatin wie im Auge des gleichen Tieres. Bei den *Krebsen* ist das Augenpigment teils Ommatin teils Ommin; die früher als „Melanophoren" beschriebenen Chromatophoren enthielten in den meisten bisher untersuchten Fällen lediglich Ommatine verschiedenen Individualcharakters, seltener kommt daneben Ommin vor. Bei *Spinnen* wurde Ommatin nicht nur als Augenpigment gefunden, sondern auch das bisher für ein Melanin gehaltene braune oder rote Hypodermispigment wurde als Ommatin erkannt.

Es ist wahrscheinlich, daß zumindesten Ommatine auch bei anderen Tierstämmen auftreten. Das von HOROWITZ[10]) bei dem marinen Wurm *Urechis caupo* als Atmungspigment beschriebene Eipigment dürfte nach seiner Beschreibung ein Ommation sein. Es scheint also aussichtsreich, die weitere Verbreitung dieser Pigmente zu untersuchen.

[7]) v. LINDEN, Pflügers Arch. **98**, 1 (1903).

[8]) CHAUVIN, C. r. Acad. Sci. Paris **207**, 1018 (1938).
[9]) CHAUVIN, C. r. Soc. Biol. Paris **130**, 1194 (1939).
[10]) HOROWITZ, Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A. **26**, 161 (1940).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Die Beziehungen zwischen Stagnationseffekt, photooxydativer Chlorophyllzerstörung und funktionellem Sonnenstich bei Wasserpflanzen.

In früheren Arbeiten[1]) über die Inaktivierung der Photosynthese durch Sonnenlicht bei extremen Schattenpflanzen sind wir im Gegensatz zu der Ansicht von EMERSON[2]) sowohl bei einem Farn wie bei Braun- und Rotalgen, hier besonders durch den Vergleich mit starklichtresistenten Typen, zu der Auffassung gelangt, die rasch einsetzenden funktionellen Hemmungen hätten nichts mit einem Mangel in der CO_2-Versorgung zu tun, müßten vielmehr auf Verschiedenheiten in der Lichtempfindlichkeit gewisser Eiweißkomplexe innerhalb der Architektur der Farbstoffproteide bzw. des Stromas der Plastiden gegenüber kurzwelligen Strahlen beruhen. Inzwischen hat GESSNER[3]) bei einer unserer früheren Versuchspflanzen, dem Schattenfarn *Trichomanes radicans*, die Bedeutung eines Stagnationseffektes bei der submersen Behandlung aufgedeckt und sieht eine photodynamische Chlorophyllzerstörung im Sinne der Hypothese von NOACK[4]) als Kernpunkt unseres funktionellen „Sonnenstichs" an. Damit ist das für eine vergleichende Beurteilung physiologischer Gestalten im Bereich der Schwachlichtpflanzen wesentliche Kennzeichen einer rein photisch bedingten Lichthemmung der Chloroplasten erneut fraglich geworden. Ich habe daher den Fragenkreis einer eingehenden experimentellen Analyse bei submers lebenden Blütenpflanzen unterworfen und sowohl die Licht*bleichung* bei Ausschaltung eines Stagnationseffektes geprüft.

In ausgesprochenem Gegensatz zu den Angaben GESSNERS[5]) zeigen extreme Schattentypen, wie *Aponogeton ulvaceus* und *Ottelia*, an klaren Tagen im Sonnenlicht unmittelbar unter der Wasseroberfläche anstatt des für submerse Blütenpflanzen ganz allgemein behaupteten Parallelismus von Strahlungs- und Leistungskurve einen *spiegelbildlichen* Verlauf der Kurven. Die Depression der Photosynthese kann selbst bei Bestrahlung in fließendem Leitungswasser von beträchtlicher Karbonathärte im Verlauf einer einzigen Stunde bis zur Unterschreitung des Kompensationspunktes führen. Auch wenn die Blätter in Assimilationskammern mit $^1/_4$stündigem Wasserwechsel der UV.-reichen Gesamtstrahlung einer Ultra-Vitalux-Lampe oder der Hanauer „Höhensonne" in einer Entfernung von 50 ccm ausgesetzt sind, zeigen extreme Schattentypen, die vorher im Violett- und UV.-*freien* Anteil dieser Strahlung stundenlang normal assimilierten, den von *Delesseria*, Schatten-*Dictyota* und Tiefen-*Laminaria* her bekannten Verlauf der Depressionskurve. Dabei bleiben die Zellen auch bei *Ottelia* während der ersten Stunde selbst auf der ungeschützten Oberseite am Leben, und vergleichende Prüfungen des Chlorophyllgehaltes entsprechend behandelter Kontrollen zeigen eindeutig, daß die photooxydative Farbstoffzerstörung *viel später* und erst zu einer Zeit einsetzt, da die photosynthetische Leistung schon auf wenige Prozente des Ausgangswertes oder sogar unter den Kompensationspunkt gesunken ist. Die rasch einsetzende Verfärbung des Blattes beruht also ausschließlich auf einer Verlagerung der Chloroplasten, nicht auf einem Schwund des Chlorophylls. Übrigens läßt sich beweisen, daß auch diese Verlagerung der inneren absorbierenden Oberfläche gerade bei supraoptimaler Bestrahlung keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit der Photosynthese ausübt.

Werden die Fensterglasdeckel der Assimilationskammern durch Uviolglas und Quarzglas ersetzt, so beschleunigt das zwar die Hemmung der Photosynthese, aber an dem Sachverhalt der *sekundären* Chlorophyllzerstörung wird auch durch den ungehinderten Zutritt des kürzerwelligen UV. nichts geändert. Eine in Uviolglaskammern unter der Ultra-Vitalux-Lampe im Verlauf einer Stunde erreichte völlige Ausschaltung des positiven Assimilationsüberschusses kann später im langwelligen Anteil der Strahlung völlig überwunden werden. Die Versuche ergeben keinerlei Anhaltspunkte dafür, daß die Inaktivierung der Photosynthese im UV.-reichen Starklicht nur durch einen Stagnationseffekt und zwangsläufig damit verknüpfte photooxydative Chlorophyllzerstörung gleichsam vorgetäuscht sei. Sie sprechen vielmehr für die Existenz einer wirklichen *Lichtlähmung* der Photosynthese als einer *primären* photochemischen Wirkung des kurzwelligen Anteils der starken Strahlung auf lichtempfindliche Plastiden und deren biochemische Architektur.

Halle a. d. S., Botanisches Institut der Universität, den 26. März 1941. C. MONTFORT.

[1]) MONTFORT, Jb. Bot. **84** (1936) — MONTFORT u. FÖCKLER, Planta (Berl.) **28** (1938) — FÖCKLER, Jb. Bot. **87** (1938).
[2]) EMERSON, Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol. **3** (1935) — Photosynthesis. Ann. Rev. Biochem. **6** (1937). — EMERSON u. GREEN, J. gen. Physiol. **17** (1934).
[3]) GESSNER, Protoplasma (Berl.) **34** (1940).
[4]) NOACK, Z. Bot. **17** (1925).
[5]) GESSNER, Jb. Bot. **86** (1938).

Über die Isotypie zwischen Phosphaten der allgemeinen Zusammensetzung MeLi[PO$_4$] und den Silikaten der Olivin-Monticellit-Reihe.

Nachdem B. Gossner und H. Strunz[1]) am Triphylin Li(Fe, Mn)[PO$_4$] und C. O. Björling und A. Westgren[2]) am Triphylin, Ferro-Sicklerit (Li, Mn'') (Fe''') [PO$_4$] und am Heterosit (Mn''', Fe''')[PO$_4$] gezeigt haben, daß diese Mineralien mit dem Olivin $Mg_2[SiO_4]$ bzw. dem Monticellit $MgCa[SiO_4]$ isotyp sind, war zu erwarten, daß noch eine Reihe weiterer PO_4-Verbindungen existiert, die in demselben Gitter krystallisieren; und zwar solche Verbindungen LiMe[PO$_4$], bei denen Me ein zwei- oder dreiwertiges Kation ist, dessen Ionenradius in der Nähe des Radius des Mg''-Ions (0,78 Å) oder des Ca''-Ions (1,06 Å) oder zwischen beiden Werten liegt.

Aus Mischungen von Verbindungen $MeNH_4PO_4 \cdot H_2O$ mit Li_2CO_3 ließen sich durch Erhitzen auf etwa 800° nach der Gleichung:

$$2MeNH_4PO_4 \cdot H_2O + Li_2CO_3 \rightarrow 2MeLiPO_4 + CO_2 + NH_3 + 3H_2O$$

folgende Verbindungen erhalten:

NiLi[PO$_4$] gelb; MgLi[PO$_4$] farblos; CoLi[PO$_4$] violett-rosa; ZnLi[PO$_4$] farblos; MnLi[PO$_4$] durch teilweise Oxydation des Mangans zu MnO_2 rötlichbraun; CuLi[PO$_4$] grün; CdLi[PO$_4$] farblos; CaLi[PO$_4$] farblos.

Die Isotypie dieser Verbindungen mit Olivin wurde durch Vergleich von Debyeaufnahmen erbracht. Es zeigte sich, daß die Aufnahmen der Ni-, Mg- und Co-Verbindungen vollkommen der von Olivin entsprechen. Die Zn-Verbindung ergab ein den eben genannten sehr ähnliches Diagramm. Die Mn- und Cu-Verbindungen entsprechen vollkommen der von Lithiophilit Li(Mn'', Fe''')[PO$_4$], dessen Aufnahme große Ähnlichkeit mit der von Olivin hat, was der Einordnung von H. Strunz[3]) entspricht. Das Diagramm der Cd-Verbindung ließ sich zwischen dem von Triphylin und Monticellit einordnen. Die Aufnahme der Ca-Verbindung entsprach der von Montecillit. Außerdem ergaben $Mg_3[PO_4]_2$ und ein Produkt, das durch Zusammensintern von Li_3PO_4 und 3 Mol $FeNH_4PO_4H_2O$ bei Zutritt von Luft erhalten wurde und wahrscheinlich die Zusammensetzung $Li_3Fe_2'''[PO_4]_4$ hatte, Aufnahmen, die sicher in diese Reihe gehören, deren Einordnung aber erst nach weiteren Untersuchungen erfolgen kann.

Für die Überlassung kleiner Mengen von Monticellit, Triphylin und Lithiophilit für die Vergleichsaufnahmen bin ich Herrn Prof. Ramdohr und Herrn Dr. Strunz vom Mineralogischen Institut zu Dank verpflichtet.

Die Untersuchungen mußten aus äußeren Gründen vorzeitig abgebrochen werden und werden später fortgesetzt.

Berlin, Chemisches Institut der Universität, den 26. März 1941. Erich Thilo.

[1]) B. Gossner u. H. Strunz, Z. Krist. (A) 83, 415 (1932).
[2]) C. O. Björling u. A. Westgreen, Geol. Fören. Stockholm; Förh. 60, 67 (1938).
[3]) H. Strunz, Z. Krist. (A) 102, 71 (1939).

Über die Isotypie zwischen Phosphaten der allgemeinen Zusammensetzung $(Me_1)_3(Me_2)_2[PO_4]_3$ und den Silikaten der Granatgruppe.

Wie W. Bubeck und F. Machatschki[1]) gezeigt haben, ist der Berzeliit $(Ca, Na)_3(Mg, Mn)_2[AsO_4]_3$ isotyp mit Granat $Ca_3(Al, Fe)_2[SiO_4]_3$. Es war daher zu erwarten, daß auch eine große Zahl von Phosphaten geeigneter Zusammensetzung, nämlich solche, die gleichzeitig 3 größere und 2 kleinere Kationen auf 3 $[PO_4]$-Gruppen enthalten, im Gitter der Granate kristallisieren. Um dies nachzuweisen, wurden durch Zusammenschmelzen und Tempern der Schmelze bei etwa 500° bisher die beiden folgenden Verbindungen hergestellt: 1. $Na_3Al_2[PO_4]_3$ und 2. $Ca_3Na \cdot Mg_2[PO_4]_3$. Die Verbindung (1) nach: $Na_3PO_4 + 2\,AlPO_4 = Na_3Al_2[PO_4]_3$, die Verbindung (2) nach: $Mg_2P_2O_7 + CaNaPO_4 + CaCO_3 = Ca_3NaMg_2[PO_4]_3 + CO_2$.

Durch Vergleich von Debyeaufnahmen ergab sich, daß die Al-Verbindung (1) einer Aufnahme von Kalk-Eisen-Ton-Granat, die der Mg-Verbindung (2) einer Aufnahme von Kalk-Eisen-Granat entspricht. Die Verbindung (2) erwies sich außerdem als vollkommen isotrop; die Substanz (1) bestand aus einem isotropen Hauptanteil, enthielt aber noch eine kleine Menge eines schwach (spannungs)doppeltbrechenden Glases.

Für die Überlassung einer Probe von Kalk-Ton-Granat zur Anfertigung einer Vergleichsaufnahme bin ich Herrn Dr. Strunz zu Dank verpflichtet.

Auch diese Untersuchungen mußten vorzeitig unterbrochen, sollen aber ebenfalls fortgesetzt und weiter ausgedehnt werden.

Berlin, Chemisches Institut der Universität, den 26. März 1941. Erich Thilo.

[1]) W. Bubeck u. F. Machatschki, Z. Krist. (A) 90, 470 (1931).

Über die „isolierte Liniengruppe" in den 4300 Å-Banden im CH- und CD-Spektrum.

In einer Mitteilung in dieser Zeitschrift berichtet E. Fagerholm[1]) über eine isolierte Liniengruppe im CD-Spektrum bei 4319,7 Å, die der ähnlichen Gruppe bei 4324 Å im CH-Spektrum entspricht. — Diese Linien konnten bisher nicht mit den 4300 Å-Banden in Beziehung gebracht werden, und Fagerholm war der Ansicht, daß es sich hier um ein neues Bandensystem des CH bzw. CD handele; aus der Kürze der Banden schloß er auf einen Übergang von einem wenig stabilen Zustand.

Im Laufe einer eingehenden Untersuchung des gesamten CH- und CD-Spektrums wurden die Banden bei verschiedenen Anregungsbedingungen und hoher Auflösung untersucht; im Leuchten des blauen Kernes einer Sauerstoff-Acetylenflamme erscheint die obenerwähnte Liniengruppe des CH besonders gut entwickelt. Die Analyse bewies, daß es sich um den Q-Zweig der (2,2)-Bande des $A^2\Delta \rightarrow X^2\Pi$-Systems handelt; auch die entsprechenden R- und P-Linien konnten zwischen den, allerdings viel stärkeren Linien der (0,0)- und (1,1)-Banden identifiziert werden. Die aus der Bande berechneten Kombinationsdifferenzen stimmen mit denen, die man auf Grund der (0,0)- und (1,1)-Banden extrapoliert, überein, was die Richtigkeit der Deutung als (2,2)-Bande beweist. Wegen der bekannten[2]) Prädissoziation des $A^2\Delta$-Termes bei ung. 30000 cm^{-1} bricht die Termfolge des $v = 2$-Schwingungszustandes bei Tiefdruckanregung schon bei niedrigen Rotationsquantenzahlen ab, wodurch Fagerholms Befund bezüglich der Kürze der Banden, ferner seine Vermutung seines wenig stabilen oberen Zustandes erklärt wird.

Budapest, Physikalisches Institut der Königl. Ungarischen Universität für technische und Wirtschaftswissenschaften, den 28. Februar 1941. L. Gerö. R. Schmid.

[1]) E. Fagerholm, Naturwiss. 25, 106 (1937).
[2]) L. Gerö, Physica 7, 155 (1940).

Beugungspolarisatorische Messungen an gedehnten und kontrahierten Mesenchymkulturen in vitro.

Bei der *polarisationsmikroskopischen* Analyse der submikroskopischen (leptonischen) Struktur des Mesenchyms ist aus dem unterschiedlichen Verhalten nach mechanischer Dehnung und thermischer Kontraktion auf das Vorkommen von Hauptvalenzkettenkomplexen (Prämicellen) geschlossen worden[1]), welche bei zunehmender Zugbeanspruchung parallelisiert und dann analog dem Übergang von α- in β-Keratin[2]) entfältelt werden, bei thermischer Kontraktion aber einknicken. Durch neue Versuche an Gewebefragmenten der Mantelhöhle von *Helix aspersa* ist die optische Anisotropie jetzt durch Messungen der *Doppelbeugung* (Beugungspolarisation, Dityndallismus, Pseudodichroismus)[3]) nachgewiesen worden. Die quantitativen Ermittlungen werden am besten an den als Interferenzphänomen bei der verschiedenen Abbeugung transmittierten oder reflektierten Lichtes parallel und senkrecht zur Hauptdimension der leptonischen Teilchen auftretenden Streifen in einem Polariskop nach F. Savart untersucht; eine brauchbare Versuchsanordnung hat Koenigsberger[4]) angegeben. Sobald das Objekt mit leptonischer Gitterstruktur auf den Objekttisch des Mikroskops gebracht wird, erscheinen die vorher in der Mitte des Gesichtsfeldes tiefschwarz erkennbaren Savartschen Interferenzstreifen von wechselnder Schärfe und können durch Bewegen einer um die horizontale Achse drehbaren Glasplatte, welche zwischen Savart-Plättchen und Nicol angebracht ist und je nach dem Winkel zwischen der Flächennormalen und dem Lichtstrahl eine variierende Polarisation bewirkt, zum Verschwinden gebracht werden. Diese Stellung der Glasplatte wird an einer nach einer Methode von Koenigsberger empirisch geeichten Vor-

richtung mit Zeiger und Skala abgelesen, d. h. der verlangte *Polarisationsfaktor* $\Pi = \frac{I_p}{I_u + I_p}$ aus den Intensitäten des unpolarisierten (I_u) und des polarisierten Anteils (I_p) des vom Objekt durchgelassenen bzw. reflektierten Lichtes für die zwei senkrecht zueinander polarisierten Lichtschwingungen gemessen. Durch Herabsetzung der Wellenlänge des benutzten Lichtes läßt sich der beugungspolarisatorische Effekt verstärken, so bei Gebrauch eines 4 mm dicken Ultraviolettschwarzglases (Schott & Gen.), das als ein einfaches selektives Filter zur Darstellung nahezu monochromatischen Lichtes (λ 366 mμ) dient, um $\sim 25 \div 40$ %.

Auch wenn an den Mesenchymkulturen in vitro die theoretische Empfindlichkeitsgrenze der KOENIGSBERGERschen Versuchsanordnung nicht erreicht wird, gelangt man doch zu gut reproduzierbaren Werten des Polarisationsfaktors. Wenn man die Gallerten mit den Explantaten nach der Technik von DOLJANSKI und ROULET[5]) mittels ausziehbarer Glasrahmen unter konstante, gerichtete Spannung bringt, läßt sich eine anfangs langsame, dann aber relativ plötzliche ***Zunahme des beugungspolarisatorischen Effekts*** bis zu einem (weit streuenden) Grenzwerte des Polarisationsfaktors nachweisen. Das ist auffallend, weil die Doppelbeugung sonst mit abnehmender Schichtdicke sinkt[6]), und kann am ehesten als Folge des Ausrichtens und nachfolgender Entfältelung der leptonischen Teilchen gedeutet werden. Durch thermische Beeinflussung der Kulturen in vitro mittels Eintauchens der Dehnungsrahmen in heißes Wasser resultiert zusammen mit einer Kontraktion der Explantate eine Verminderung der Doppelbeugung bis nahe an den initialen Wert. Spaltet man die gedehnten Explantate in der Dehnungsrichtung, so kann man die Beugungspolarisation nach Anpassen der Messungsvorrichtung an den Gebrauch *reflektierten* Lichtes in einem *Ultropak*system auch an den beiden Schnittflächen messen und dabei die ***fibrillare Ausbildung der leptonischen Teilchen*** überzeugend demonstrieren, indem sich fibrillare und plättchenförmige Teilchen darin unterscheiden, daß jene in zwei, letztere in drei Dimensionen des Raumes eine höhere Beugungspolarisation als in der bzw. in den beiden anderen zeigen[7]). Das Cytoplasma der Mesenchymzellen dürfte sich also gleich früher untersuchten Objekten wie eine Nicht-NEWTONsche Flüssigkeit verhalten[8]).

Bremen, Kolonial- und Überseemuseum, den 29. März 1941. H. H. PFEIFFER.

[1]) H. H. PFEIFFER, Naturwiss. **28**, 317 (1940).

[2]) Neuere Zusammenfassungen: W. J. SCHMIDT, Nova Acta Leopoldina (Halle) **7**, 1, 10 (1939) — Verh. dtsch. zool. Ges. **41**, 303, 312 (1940). — W. T. ASTBURY in E. BAMANN u. K. MYRBÄCK, Die Methoden der Enzymforschung, S. 498, 503f. Leipzig: Georg Thieme 1940. — FR. DUSPIVA in F. F. NORD u. R. WEIDENHAGEN, Handbuch der Enzymologie **1**, 26f. Leipzig: Akad. Verlagsges. 1940.

[3]) PFEIFFER, Naturwiss. **27**, 389 (1939) — Experimentelle Cytologie, S. 146, 215. Leiden: Chron. bot. Comp. 1940.

[4]) JOH. KOENIGSBERGER, Z. Mikrosk. **28**, 34 (1911). — F. WEIGERT, Optische Methoden der Chemie, S. 479, 524f. Leipzig: Akad. Verlagsges. 1927. — F. KOHLRAUSCH, Praktische Physik, 17. Aufl., S. 431, 462. Leipzig: B. G. Teubner 1935. — H. H. PFEIFFER, Z. Altersforsch. **2**, 15 (1940) — Arch. Physique biol., sous presse (1941).

[5]) L. DOLJANSKI u. FR. ROULET, Roux' Arch. **131**, 512, 516 (1934).

[6]) PFEIFFER, Chron. Bot. **5**, 156 (1939) — Naturwiss. **27**, 389 (1939).

[7]) PFEIFFER, Kolloid-Z. **92**, 182, 188 (1940).

[8]) PFEIFFER, Proc. 6. internat. Congr. Amsterdam **2**, 43 (1935) — Nature **138**, 1054 (1936) — Physics **7**, 302 (1936) — Fujii Jubil. Vol. 701. Tokyo: Maruzen Co. 1937 — Verh. dtsch. zool. Ges. **39**, 106 (1938) — Experimentelle Cytologie, S. 36f. Leiden: Chron. Bot. Comp. 1940. — W. SEIFRIZ, Science (N. Y.) **88**, 21 (1938). — A. FREY-WYSSLING, Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas und seiner Derivate, S. 73. Berlin: Gebr. Borntraeger 1938. — W. J. SCHMIDT, Protoplasma (Berl.) **29**, 435, 438 (1938) u. **34**, 237, 262 (1940) — Verh. dtsch. zool. Ges. **41**, 303, 347 (1940). — DUSPIVA, l. c. **11**, 33f.

Besprechung.

MITTMANN, OTFRID, **Erbbiologische Fragen in mathematischer Behandlung.** XI, 265 S. (m. 46 Abb.), 16 cm × 24 cm. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1940. Preis geb. RM. 22.—.

1938 erschien von KOLLER[1]) ein Buch ähnlichen Inhalts, das sich vorzugsweise an Mathematiker richtete. Dem gegenüber soll das vorliegende, wie sowohl dem Vorwort wie dem Geleitwort A. KÜHNS zu entnehmen ist, hauptsächlich für Biologen bestimmt sein. Es behandelt zwei sowohl derzeit wie überhaupt wichtige Fragenbereiche desjenigen Teils der Erbwissenschaft, der mathematischer Darstellung am leichtesten zugängig ist, — beide aber, was die Auswahl der Teilfragen wie das benutzte Schrifttum anbelangt, in einer ziemlich subjektiven Weise. Dies soll keinen Vorwurf bedeuten, denn der Titel des Buches läßt eine solche Auswahl und Darstellung ohne weiteres vermuten.

Nach dem einleitenden Kapitel über die Grundlagen des Mendelismus, das wohl mehr für Mathematiker als für Biologen gedacht ist, folgt der Hauptabschnitt „Bevölkerungstheorie". Die Erbkonstanz bei Panmixie und Fehlen von Selektion, die Auswirkungen von starker und schwacher Auslese sowie die Folgen von Inzucht und Gattenwahl werden für 1 Allel ausführlich, für Sonder- und verwickeltere Fälle kurz abgehandelt. Im zweiten Hauptkapitel „Erbstatistik" bringt Verf. hauptsächlich Eigenes, und zwar die mathematische Fundierung und Weiterführung des Kühn-Henke-Verfahrens zum Entscheid, ob ein Merkmalsunterschied ein- oder mehrpaarig bedingt ist. Diese Methode hat hauptsächlich für Merkmale Bedeutung, die sich graduell manifestieren. Aus der Phänotypenverteilung der beiden elterlichen Reinrassen, der der F_1 sowie nach Möglichkeit auch derjenigen der beiden Rückkreuzungsgenerationen wird eine F_2-Erwartungskurve konstruiert und mit der empirischen F_2-Kurve verglichen. Eine Weiterführung dieses Prinzips stellt das Θ-Klassenverfahren des Verfassers dar. Je ein Beispiel, das u. a. auch die umfangreiche Rechenarbeit erkennen läßt, ist beigegeben. In diesem Kapitel wird ferner auch die Prüfung auf Koppelung zweier Merkmale behandelt, leider ohne Berücksichtigung der meist sehr guten angelsächsischen Methoden. Seinen Schluß bildet ein willkommener Abschnitt über Erbbehaftung (Erbbelastung) von Einzelindividuen. Angehängt ist dem Buche ein 42 Seiten langes Kapitel, welches dem mathematisch wenig vorgebildeten Leser das notwendige Rüstzeug (vor allem Wahrscheinlichkeitsrechnung) vermitteln soll und das einwandfrei und didaktisch gut geschrieben ist.

Der mit dem ganzen Gebiet noch wenig Vertraute wird also in diesem Buche „erbbiologische Fragen" „mathematisch behandelt" finden, wie es der Titel verspricht, zwar etwas subjektiv ausgewählt und ebenso dargestellt, aber so, daß er bei gutem Willen sich erfolgreich einarbeiten kann. Auch dem Erfahrenen wird manche Darstellung willkommen sein, völlig abgesehen von der Zusammenfassung der Erbmethodik bei sich graduell ausprägenden Merkmalen. Leider ist (nach Ansicht des Ref.) die mathematische Symbolik für den zu erwartenden Durchschnittsleser etwas verwickelt (viele Indices!) und drucktechnisch bisweilen reichlich unzweckmäßig. WILHELM LUDWIG, Halle.

[1]) Vgl. Naturwiss. **1940**, 613.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: FRITZ SÜFFERT, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.

Das freie Elektron in Physik und Technik

Vorträge von

Dr.-Ing. habil. **E. Brüche,** Berlin, Dr. **H. Ewest,** Berlin, Dozent Dr. **R. Frerichs,** Berlin, Professor Dr. **W. Gerlach,** München, Dr. **A. Glaser,** Berlin, Professor Dr. **W. Kossel,** Danzig, Professor Dr. **C. Ramsauer,** Berlin, Dr.-Ing. **H. Rothe,** Berlin, Professor Dr. **H. Rukop,** Berlin, Dr.-Ing. **E. Ruska,** Berlin, Professor Dr. **W. Schottky,** Berlin, Dr. **M. Steenbeck,** Berlin

Veranstaltet durch den

Bezirk Berlin des Verbandes Deutscher Elektrotechniker — vormals Elektrotechnischer Verein e. V. — in Gemeinschaft mit dem Außeninstitut der Technischen Hochschule Berlin

Herausgegeben von

Professor Dr. **C. Ramsauer**

Berlin

Mit 223 Abbildungen. VII, 270 Seiten. 1940

RM 24.—; gebunden RM 25.50

Das Buch bildet die Wiedergabe einer Vortragsreihe, die im Winter 1938/39 durch den Bezirk Berlin des Verbandes Deutscher Elektrotechniker in Gemeinschaft mit dem Außeninstitut der Technischen Hochschule Berlin veranstaltet wurde.

Die Reihe behandelt in den ersten 6 Vorträgen Fragen der Physik des Elektrons mit den Themen: Das freie Elektron, Wechselwirkung des Elektrons mit der Materie, Elektronenbefreiung, Gasentladung Strahlungsanregung von Gasen und festen Körpern, Röntgenphysik. In der zweiten Hälfte von 6 Vorträgen stehen Ausführungen über technische Anwendungen der Elektronenstrahlung im Vordergrund, und zwar: Systematik der Elektronengeräte, Verstärker- und Kurzwellenröhren, Stromrichter, Abbildungsgeräte, Leuchtröhren.

Inhaltsübersicht:

A. Das freie Elektron in der Physik. Das freie Elektron. Von Professor Dr. W. Gerlach, Direktor des Physikalischen Instituts der Universität München. — **Wechselwirkung zwischen Elektron und Materie.** Von Professor Dr. C. Ramsauer, Direktor des Forschungsinstituts der AEG, Berlin. — **Elektronenbefreiung.** Von Professor Dr. W. Schottky, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Siemens & Halske AG., Berlin, mit einem einführenden Kapitel von Dr. A. Recknagel, Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Forschungsinstituts der AEG, Berlin. — **Entladungserscheinungen.** Von Dr. M. Steenbeck, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Siemens-Schuckertwerke AG., Berlin. — **Strahlungsanregung von Gasen und festen Körpern.** Von Dozent Dr. R. Frerichs, Laboratoriumsleiter in der Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung m. b. H., Berlin. — **Röntgenphysik.** Von Professor Dr. W. Kossel, Direktor des Physikalischen Instituts der Technischen Hochschule Danzig. — **B. Das freie Elektron in der Technik. Systematik der Elektronengeräte.** Von Dr.-Ing. habil. E. Brüche, Leiter des Physikalischen Laboratoriums am Forschungsinstitut der AEG, Berlin. — **Verstärker- und Senderöhren (stationäre Vorgänge).** Von Professor Dr. H. Rukop, Vorstandsmitglied der Telefunken-Ges. m. b. H., Berlin. — **Nichtstationäre Vorgänge in Elektronenröhren.** Von Dr.-Ing. H. Rothe, Abteilungsvorstand der Hochfrequenzlaboratorien der Telefunken-Ges. m. b. H., Berlin. — **Stromrichter.** Von Dr. A. Glaser, Leiter des Röhren-Laboratoriums am Forschungsinstitut der AEG, Berlin. — **Abbildungsgeräte.** Von Dr.-Ing. E. Ruska, Laboratorium für Elektronenoptik der Siemens & Halske AG., Berlin. — **Leuchtröhren.** Von Dr. H. Ewest, Geschäftsführer der Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung m. b. H., Berlin. — Schrifttum.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

Zunehmendes Alter zwingt den Betriebsführer der unterzeichneten Handlung, sich nach einem geeigneten

Verlagsleiter

oder

Geschäftsführer

umzusehen. Es würde sich bei gegenseitiger Übereinstimmung um eine Lebensstellung handeln. Eigentliche buchhändlerisch-technische Kenntnisse sind nicht so wichtig als die Beherrschung der naturwissenschaftlich-technischen Gebiete, auf denen die Handlung arbeitet. Voraussetzung: abgeschlossene Hochschulbildung.

Gebrüder Borntraeger

Berlin-Zehlendorf

Theodor Fritsch-Allee 25

Anleitungen für die chemische Laboratoriumspraxis

Herausgegeben von **E. Zintl †**

Soeben erschien:

Band I:

Chemische Spektralanalyse

Eine Anleitung zur Erlernung und Ausführung von Spektralanalysen im chemischen Laboratorium

Von

W. Seith und **K. Ruthardt**

Zweite, verbesserte Auflage

Mit 68 Abbildungen im Text und einer Tafel X, 125 Seiten. 1941. Steif geheftet RM 7.50

Ausführlicher Prospekt liegt diesem Heft bei

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

Jahrbuch der AEG-Forschung

Herausgeber:

W. Petersen und **C. Ramsauer**

Redaktion: H. Backe

Soeben erschien:

Siebenter Band / Dritte Lieferung / Dezember 1940

Mit 55 Abbildungen und 2 Zahlentafeln im Text

IV, 45 Seiten. 1940. RM 5.—

Mit der dritten Lieferung wird eine Einbanddecke zum siebenten Bande für die Bezieher des vollständigen Bandes kostenlos geliefert

Preis des vollständigen siebenten Bandes gebunden RM 17.—

Inhaltsübersicht:

Das Strahlungsfeld eines quer zur Achse stehenden Dipols im Hohlraum eines Kegels. Von H. Buchholz. — **Überspannungen bei der Doppelerdschluß-Abschaltung in kompensierten Drehstrom-Netzen und ihre Begrenzung durch Überspannungsableiter.** Von W. Rabus. — **Nutenharmonische von Turbogeneratoren.** Von F. Moldenhauer. — **Der Wirkungsgrad ungeschlitzter und geschlitzter Magnetfeldröhren.** Von B. Kockel.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

Hierzu zwei Beilagen vom Verlag Julius Springer in Berlin.

Für den Textteil verantwortlich: Fritz Süffert in Berlin W 9; für den Anzeigenteil: Albert Meyer in Berlin-Steglitz, Kühlebornweg 5. Pl. 4. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig. — Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Printed in Germany.